Das radioaktive Verhalten der Gesteine im Nördlinger Ries

Günter Trapp

Das radioaktive Verhalten der Gesteine im Nördlinger Ries

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Ludwig-Maximilians-Universität

zu

München

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Vorgelegt von

Günter Trapp

aus

Starnberg

April 1957

Berichterstatter: Prof. Dr. H. Reich

Tag der mündl. Prüfung : 5.6.1957

Inhalt

Einleitung 1

A. DAS MESSVERFAHREN

Der Aufbau des Meßgerätes 3

Die Empfindlichkeit des Meßgerätes 4

Die physikalische Bedeutung der Meßgröße 7

a) Die Gammastrahlung der in den Gesteinen vorkommenden natürlichen radioaktiven Elemente 8
b) Die Gammastrahlung der in der Bodenluft enthaltenen Radium-Emanation und ihrer Folgeprodukte 12
c) Die Gammastrahlung der atmosphärischen Radium-Emanation und ihrer kurzlebigen Folgeprodukte 13
d) Die Höhenstrahlung 15

Die geologische Bedeutung der Meßgröße 16

B. BESCHREIBUNG DER MESSERGEBNISSE

Allgemeines 20

Die einzelnen Meßgebiete

a) Marktoffingen - Maihingen 23
b) Der Reisberg 26
c) Nördlingen - Reimlingen - Hürnheim 28
d) Alerheim - Appetshofen 30
e) Amerbach - Polsingen 34
f) Sulzdorf - Itzing 35
g) Der Hesselberg 36
h) Sonstige Gebiete 37

Tabelle der Meßwerte 39

C. MIKRO-AUTORADIOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN 40

D. CHEMISCHE UND RADIOMETRISCHE ANALYSEN 43

E. GEOLOGISCHE DEUTUNG DER MESSERGEBNISSE

Übersicht 44

a) Der Suevit 45
b) Die obermiozänen Süßwasserkalke 46

Vergleich mit einem nordamerikanischen Vorkommen 53

Schlußbemerkung 55

Literaturverzeichnis 56

Lebenslauf 59

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555403_0100

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet

Zusammenfassung

Durch Messung der Gammastrahlenintensität mit Hilfe eines tragbaren Szintillationszählers wird das radioaktive Verhalten der Gesteine im Nördlinger Ries untersucht. Die angetroffenen Gesteinsaktivitäten variieren in sehr weiten Grenzen; ihre extremsten Werte verhalten sich wie 200 : 1. Die höchste Aktivität, die auf einen Gehalt von 200 g U/t Gestein zurückgeht, zeigen die obermiozänen "Sprudelkalke" des Steinberges NE Appetshofen. Die geringste Aktivität weisen die zum Vergleich herangezogenen Süßwasserkalke des Steinheimer Beckens sowie die Malmkalke auf. Die übrigen Sedimente, sowie Suevit und kristallines Grundgebirge zeigen dazwischenliegende Aktivitäten. Der im Gelände festgestellte Befund wird durch Mikro-Autoradiographien mittels Ilford C2-Platten ergänzt. Das Uran der Sprudelkalke ist im Gestein homogen verteilt, sichtbare Uranmineralien fehlen. Als Uranlieferanten kommen das unterlagernde Grundgebirge, der Suevit und die Restphase des für den Riesvulkanismus verantwortlichen Magmas in Frage. Auf ein ähnliches nordamerikanisches Uranvorkommen wird hingewiesen .

Einleitung

In Fortsetzung früherer Radioaktivitätsuntersuchungen des Institutes für angewandte Geophysik der Universität München (Ch. Wierczeyko 1952, E. Bock 1954) wurden nunmehr mit einem modernen, tragbaren Szintillationszähler, einem sog. Szintillometer, Radioaktivitätsmessungen im Gelände durchgeführt. Meßgebiet war "das auf der Erde immer noch einzigartige Nördlinger Ries" (J. Schröder-R. Dehm 1950), das die Geologie seit mehr als hundert Jahren beschäftigt (vgl. P. Dorn 1950: "Ein Jahrhundert Riesgeologie") und zu dessen Kenntnis die Geophysik entscheidende Beiträge geliefert hat (H. Reich - W. Horrix 1955). Hatten hierbei die magnetischen, gravimetrischen und seismischen Verfahren bisher im Vordergrund gestanden, deren Aussagen den tieferen Untergrund betreffen, so wurde mit der vorliegenden Arbeit erstmalig das radioaktive Verhalten der Riesgesteine untersucht. Dieses auf Aussagen über die Tagesoberfläche beschränkte Verfahren hat ebenfalls zu interessanten und unerwarteten Ergebnissen geführt.

Die Anregung zu dieser Arbeit und die Bereitstellung des Meßgerätes verdanke ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. Reich, der an meinen Untersuchungen steten Anteil genommen hat und sie durch Anregungen und Ratschläge, sowie durch die gemeinsame Begehung wichtiger Aufschlüsse in jeder Weise gefördert hat.

Großen Dank schulde ich ferner den Herren Professoren Dr. R. Dehm und Dr. J. Schröder, die mir das Riesmaterial der Handstücksammlung des geologisch-paläontologischen Institutes zugänglich machten und mit ihrer reichen Riserfahrung hilfreiche Ratgeber waren. Für Hinweise bin ich ebenfalls Herrn Direktor Dr. H. Nathan vom Bayerischen geologischen Landesamt verbunden.

In dankenswerter Weise überließ mir die Isotopenabteilung des Universitätsinstitutes für Röntgenologie und physikalische Therapie - durch freundliche Vermittlung des Herrn Dr. E. Bunde - die radioaktiven Präparate zur Eichung des Meßgerätes.

Dem Entgegenkommen der Herren Dr. H. Closs vom Amt für Bodenforschung Hannover und Dr. H. Ziehr von der Bayerischen Braunkohlenindustrie A.G., Schwandorf, verdanke ich die radiometrischen und chemischen Analysen von Gesteinsproben.

Für die Überlassung von Vergleichsmaterial bin ich Herrn Direktor H. Paul der Gewerkschaft Brunhilde dankbar.

Die Gesellschaft von Freunden und Förderern der Universität (Stiftung der Münchener Universitätsgesellschaft e.V.) stellte die Mittel zum Ankauf des verwendeten Szintillationszählers in großzügiger Weise zur Verfügung, wofür besonders gedankt wird .

A. D A S M E S S V E R F A H R E N

Der Aufbau des Meßgerätes

Zur Durchführung der Radioaktivitätsmessungen stand dem Verfasser ein moderner, den Anforderungen der Geländearbeit entsprechender Szintillationszähler, ein sog. Szintillometer,[1] zur Verfügung (Fig.1). Über die Wirkungsweise und Leistungsfähigkeit des Szintillationszählers unterrichtet in bester Weise ein Artikel von W. Hanle (1951), auf den verwiesen wird. Hier sollen lediglich einige bauliche Einzelheiten Erwähnung finden.

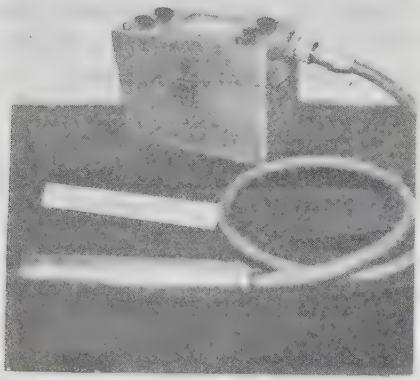


Fig. 1. Das Meßgerät.

1) Hersteller: Zentralwerkstätte Göttingen, Baujahr 1951.

Als Detektor dient ein Tl-aktivierter NaJ-Kristall von zylindrischer Gestalt (2,5 cmØ, 2,5 cm Dicke), dessen Lichtblitze von einem FS 9A-Photomultiplier registriert werden. Zum Schutze gegen mechanische Beschädigungen sind diese beiden Elemente in einem Messingrohr von 1,5 mm Wandstärke untergebracht, das den "Meßkopf" bildet. Alpha-, beta-, sowie ein Teil der gamma-Strahlung werden durch das Messingrohr abgeschirmt. Über ein elastisches Kabel werden die Spannungsimpulse dem eigentlichen Anzeigegerät zugeführt, das aus zweistufigem Verstärker, Multivibrator, Integrationsschaltung und Milliamperemeter besteht, dessen Anzeige der Eingangs-Impulshäufigkeit direkt proportional ist. Die Empfindlichkeit ist in sechs Stufen zwischen 1 000 und 300 000 Impulsen/Minute Endausschlag einstellbar, die Zeitkonstante der Integrationsstufe beträgt nach Wahl 2, 5 oder 15 sec. Als Energiequelle enthält das Gerät einen Spezialakkumulator[1], der über Zerhacker, Transformator und Gleichrichter die Hochspannung liefert. Die Akkuspannung ist durch Druck auf eine Prüftaste jederzeit feststellbar. Die Kapazität des Akkumulators erlaubt eine tägliche Betriebsdauer von acht bis zehn Stunden, die Aufladung mittels Ladegeräts erfolgt nachts.

Die Empfindlichkeit des Meßgerätes

Als Eichsubstanzen standen dem Verfasser zwei Präparate zur Verfügung:

$0{,}3 \pm 20\%$ mC Co_{60}
$0{,}6 \pm 20\%$ mC J_{131}

1) Hersteller: Silberkraft-Leichtakkumulatoren GmbH Duisburg.

Die durch diese Präparate in verschiedenem Abstand (in Luft) hervorgerufene Impulsratenerhöhung ist in Fig. 2 aufgetragen[1]. Um die Proportionalität zwischen der Impulsrate und dem Reziproken des Abstandsquadrates deutlich zu machen, ist letzteres als Abszisse aufgetragen. Die geforderte Proportionalität ist nur bis etwa 100 000 Imp./Min. gut erfüllt. Bei höheren Impulsraten macht sich ein Abfall infolge der endlichen "Totzeit" des Zählers bemerkbar.

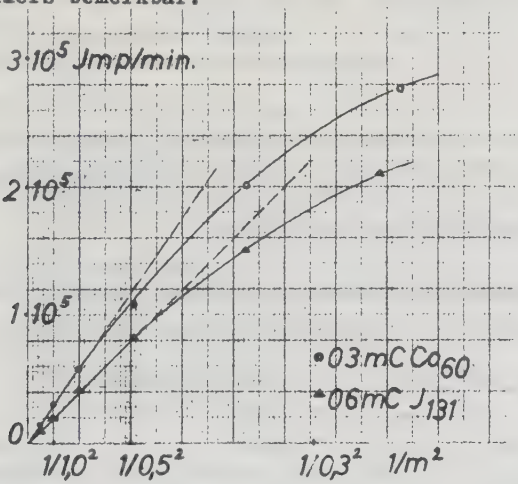


Fig.2. Impulsratenerhöhung durch 0,3 mC Co_{60} und 0,6 mC J_{131} in verschiedenen Abständen. Als Abszisse ist das Reziproke des Abstandsquadrates (in m^{-2}) aufgetragen.

1) Die Versuchsanordnung schloß eine Beeinflussung des Meßergebnisses durch Streustrahlung aus.

Mit den Dosiskonstanten

13,5 r/h . mC Co_{60} in 1 cm Abstand und

2,29 r/h . mC J_{131} in 1 cm Abstand

ergibt sich für den Proportionalitätsbereich eine Impulsratenerhöhung von

76 000 Imp/min.mr/h für die Gammastrahlung des Co_{60}

146 000 Imp/min.mr/h für die Gammastrahlung des J_{131} .

Mit Hilfe eines Standardpräparates konnte die Empfindlichkeit auch im Gelände jederzeit kontrolliert werden. Sie erwies sich als sehr konstant; insbesondere war der Abfall der Akkuspannung während der täglichen Betriebsdauer ohne merklichen Einfluß.

Die Genauigkeit der Messungen wurde durch die statistischen Schwankungen der Impulshäufigkeit begrenzt. Der mittlere statistische Fehler ist durch den Ausdruck

$$0{,}67 \cdot (N)^{1/2}$$

gegeben. Dabei bedeutet N die Zahl der Impulse, die während der durch die Zeitkonstante gegebenen Zeit im Durchschnitt registriert werden. Bei einer Impulsrate von 1 000 Imp/min und einer Zeitkonstanten von 15 sec. beträgt der mittlere statistische Fehler 43 Imp/min, entsprechend 4,3 % .

Die physikalische Bedeutung der Meßgröße

Es ist angebracht, einer Besprechung der Ergebnisse geophysikalischer Radioaktivitätsmessungen eine Analyse des Meßverfahrens voranzustellen, denn "die Radioaktivität ist ein Phänomen, aber keine Meßgröße" (R.Coulomb,1955). Die in der vorliegenden Untersuchung verwendete und heute allgemein übliche Methode benutzt als Meßgröße die Zahl der von einem Szintillationszähler über einem geologischen Körper pro Zeiteinheit registrierten Impulse. An dieser Impulsrate sind beteiligt:

a) Die Gammastrahlung der in den Gesteinen vorkommenden natürlichen radioaktiven Elemente.

b) Die Gammastrahlung der in der Bodenluft enthaltenen Radium-Emanation und ihrer Folgeprodukte [1].

c) Die Gammastrahlung der atmosphärischen Radium-Emanation und ihrer kurzlebigen Folgeprodukte [1].

d) Die Höhenstrahlung.

Geologische Bedeutung kommt nur den Anteilen a) und b) zu. Ihnen gegenüber bedeuten die Anteile c) und d) unwillkommene Beigaben, sie bilden den "Untergrund". Im Folgenden werden die Beiträge der einzelnen Anteile zur Gesamtimpulsrate besprochen und abgeschätzt.[2]

---

1) Die Thorium-Emanation tritt infolge ihrer geringen Halbwertszeit nicht in nennenswerter Konzentration auf.

2) Die Gammastrahlung durch evtl. künstliche Verseuchung (aktive Niederschläge) wird nicht berücksichtigt.

a) Die Gammastrahlung der in den Gesteinen vorkommenden natürlichen radioaktiven Elemente.

Für die Gammastrahlung der Gesteine sind folgende Elemente verantwortlich:

Das Uran und seine Folgeprodukte.(Das natürliche Isotopengemisch besteht aus 99,3% U238 und 0,7% U235; die Rolle des letzteren wird in den folgenden Überlegungen vernachlässigt.)

Das Thorium und seine Folgeprodukte.

Das Kalium (Das natürliche Isotopengemisch enthält das instabile K40 zu 0,012%).

Einen Überblick über die hauptsächlichen natürlichen Gammastrahler gibt Tabelle 1. Außerdem enthält sie die Daten für Co_{60} und J_{131}, die als Eichsubstanzen verwendet wurden. Spalte I enthält die gammastrahlenden Elemente, Spalte II die Energien der vorwiegend emittierten Gammaquanten, Spalte III ihre Häufigkeit bezogen auf 100 Zerfälle, Spalte IV enthält für Kalium die Anzahl der pro min. von einem g des natürlichen Isotopengemisches emittierten Gammaquanten, für die Uran-und Thoriumfamilie die Zahl der Gammaquanten, die bei bestehendem radioaktiven Gleichgewicht pro min. und g des Mutterelementes emittiert werden. Die Spalten V und VI beziehen sich auf die Ausführungen auf Seite 10, und werden dort besprochen.

Innerhalb der Gesteine verlieren die Gammaquanten durch vielfache Comptonstreuung den größten Teil ihrer Energie und werden schließlich durch einen Photoeffekt absorbiert[1].

---

1) Die Paarbildung kann außer Betracht bleiben, da sie in den vorzugsweise aus leichteren Elementen aufgebauten Gesteinen selbst bei den höchsten natürlichen Gamma-Energien nur eine unbedeutende Rolle spielt: Bei 2,5 MeV in Beton 4% des Gesamtwirkungsquerschnittes (P.R.Karr, J.C.Lamkin, 1949).

Die Entfernung, die ein Gammaquant bis zum nächsten Streuproze9 im Durchschnitt zurücklegt (seine mittlere Reichweite) wird mit abnehmender Energie immer geringer[1], ebenso der bei der Streuung erlittene mittlere Energieverlust[2]. Tabelle 2 gibt als Beispiel das Verhalten eines "repräsentativen" Gammaquantes von 1,2 MeV Anfangsenergie wieder, das jedesmal genau die seiner Energie (Spalte II) entsprechende mittlere Reichweite (Spalte III) zurücklegt und bei dem anschließenden Streuprozeß genau den entsprechenden mittleren Energieverlust erleidet. Spalte IV enthält den dem Quant verbleibenden Energiebruchteil.

Wir betrachten jetzt einen im Vergleich zur mittleren Reichweite der Gammastrahlen unendlich großen Gesteinskörper mit einem bestimmten, überall gleich großen Gehalt (pro Masseneinheit) an radioaktiven Elementen. Die Betrachtung des in ihm herrschenden Gleichgewichtes zwischen Emission und Absorption der Gammastrahlung führt dann zu dem Schluß: Jedes Massenelement absorbiert im zeitlichen Mittel ebensoviele Gammaquanten, wie es erzeugt. Diese Überlegung gilt unabhängig von der Dichteverteilung innerhalb des Gesteinskörpers.

Jetzt denken wir uns in diesen Gesteinskörper den Meßkopf unseres Szintillometers eingeführt und nehmen an, daß dadurch das Strahlungsfeld am Ort des Zählers nur in vernachlässigbarer Weise geschwächt wird.[3] In diesem Falle

---

1) Die mittlere Reichweite ist das Reziproke des Wirkungsquerschnittes für Comptonstreuung. Dieser ist der Elektronendichte des Materials und für die vorzugsweise aus leichteren Elementen aufgebauten Gesteine damit deren Dichte selbst direkt proportional.

2) Der Energieverlust, den ein Gammaquant bestimmter Energie bei einer Comptonstreuung erleidet, hängt vom Streuwinkel ab. Der "mittlere Energieverlust" ergibt sich durch Mittelung über alle Streuwinkel.

3) Diese Annahme trifft streng nur unter der Bedingung zu, daß die Dimensionen des Meßkopfes klein sind im Vergleich zur mittleren Reichweite der Gammastrahlung. Diese Bedingung ist nur mangelhaft erfüllt.

TABELLE I

Gammastrahlende Elemente

I Element	II[1] Energie der γ-Strahlen in MeV	III[1] Anzahl der Quanten bei 100 Zerfällen	IV Anzahl der Quanten pro g und min.	V Impulszahl pro Quant	VI Impulszahl pro g Zählerkristall
K	1,49	12	216	4,6	10^3
Co_{60}	1,17	100			
	1,33	100			
J_{131}	0,08	2			
	0,28	5			
	0,36	80			
	0,64	9			
	0,72	3			
UX_1	0,09	20	$15,7.10^4$	1	$6,8.10^6$
UX_2/UZ	0,39	10	7,8 "	2,4	
	0,85	10	7,8 "	3,8	
Ra	0,19	1	0,8 "	1,3	
RaB	0,24	10	7,8 "	1,6	
	0,29	24	18,8 "	1,8	
	0,35	44	34,5 "	2,2	
RaC	0,61	68	53,4 "	3,4	
	0,77	10	7,8 "	3,7	
	0,93	8	6,3 "	3,9	
	1,12	20	15,7	4,2	
	1,24	7	5,5 "	4,4	
	1,38	7	5,5 "	4,5	
	1,52	4	3,2 "	4,7	
	1,76	22	17,2 "	4,9	
	2,20	7	5,5 "	5,3	
Th	0,06	24	$6 .10^4$	1	$1,9.10^6$
	0,07	20	5 "	1	
ThB	0,18	4	1 "	1,2	
	0,24	60	15 "	1,6	
	0,30	4	1 "	2	
ThC	0,72	13	3,2 "	3,6	
	0,83	13	3,2 "	3,9	
	1,06	4	1 "	4,1	
	1,34	3	0,7 "	4,7	
	1,61	5	1,2 "	4,8	
	1,81	5	1,2 "	5	
ThC"	0,28	3	0,7 "	1,8	
	0,51	8	2 "	3	
	0,58	27	7 "	3,3	
	0,86	5	1,2 "	3,8	
	2,62	34	8 ,5 "	5,6	

1) nach J. Mattauch-A.Flammersfeld, 1952;
J.H.Hollander, I. Perlman, G.T. Seaborg, 1953;
A.E.R.E., 1957.

TABELLE 2

Verhalten "repräsentativer" Gammaquanten von 1,2 MeV.

I	II	III	IV	V	VI
Zahl der erlitten. Streuungen	Restenergie in MeV	Weglänge in Materie der Dichte 1 in cm	Energie-bruchteil nach der Streuung	Relativer Verlust durch Photoeffekt	Noch vorhandener Bruchteil der Quanten
0	1,20	16	0,545	0	1
1	0,654	11,8	0,63	0,1	0,9
2	0,412	9,6	0,69	0,22	0,7
3	0,284	8,7	0,73	0,36	0,45
4	0,207	7,5	0,79	0,6	0,18
5	0,164	7	0,825	0,78	0,04
6	0,135	6,5	0,845	0,86	0,006
7	0,113	6,2	0,86	0,9	0

73,3 cm Gesamt-Weglänge

Imp. durch Comptoneff. 3,28
Imp. d. Photoeffekt 1
4,28

absorbiert der Zählerkristall im zeitlichen Mittel ebensoviele Gammaquanten, - auf dem geschilderten Weg der vielfachen Comptonstreuung und schließlich des Photoeffekts - wie in einem Gesteinsstück gleicher Masse erzeugt werden. Die Zahl der dabei von einem Gammaquant erzeugten Impulse ist gleich der der erlittenen Comptonstreuungen plus 1 , letzterer vom schließlich erfolgenden Photoeffekt herrührend.

Wir machen jetzt noch die Annahme, daß, analog dem in Tabelle 2 gezeigten Beispiel alle Gammaquanten das ihrer Anfangsenergie entsprechende, gleiche "repräsentative" Verhalten zeigen[1)], berücksichtigen jedoch, daß entsprechend der hohen Ordnungszahl des im Zählerkristall enthaltenen Jods der Photoeffekt bei Energien unter 0,6 MeV bereits eine merkliche Rolle spielt. Spalte V der Tabelle 2 enthält den Bruchteil der Gammaquanten, der bei der entsprechenden Energie jeweils durch Photoeffekt verloren geht, Spalte VI den insgesamt noch verbleibenden Restbruchteil der Gammaquanten. Die Addition der Zahlen von Spalte VI ergibt die von dem repräsentativen Gammaquant durch Comptonstreuung im Zählerkristall hervorgerufene Impulszahl; im Beispiel der Tabelle 2 beträgt diese Summe 3,28, also zusammen mit dem einen photoelektrischen Impuls 3,28 + 1 = 4,28. Die entsprechenden Impulszahlen (einschl. des photoelektrischen Impulses) für die in Tabelle 1 angeführten Gammastrahlungen sind in Spalte V dieser Tabelle angegeben.

Nunmehr können wir die Impulsrate, die aus der Gammastrahlung der Gesteine herrührt, abschätzen. Wir multiplizieren für jede Gammastrahlenenergie die Impulszahlen der Spalte V (Tabelle 1) mit den Zahlen der Spalte IV (Tabelle 1)(Anzahl der entsprechenden Gammaquanten, die pro min und g des Mutterelements emittiert werden) und summieren über alle einem Element zukommenden Gammastrahlen. Damit erhalten wir die-

1) Diese Annahme führte W.K.Faust und M.H.Johnson (1949) zu sehr befriedigender Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen. Eine genaue, theoretische Behandlung des Problems findet sich bei P. Karr und J.C.Lamkin (1949).

jenige Impulszahl, die in einem g des Zählerkristalls erzeugt wird, wenn das umgebende Gestein zu 100% aus dem entsprechenden Strahler besteht. (Diese Zahlen sind in Spalte VI der Tabelle 1 angeführt.) Wir haben die Zahlen d r Spalte VI jetzt nur mit dem Gehalt des betrachteten Gesteins an dem betreffenden Element sowie mit der Masse des Zählerkristalls (44,3 g[1]) zu multiplizieren und das Ergebnis noch durch zwei zu dividieren, um der Tatsache Rechnung zu tragen, daß wir in der Praxis nicht im Inneren des Gesteinskörpers sondern an seiner Oberfläche messen[2]. An zwei Beispielen soll das Gesagte erläutert werden:

Beispiel 1

Ein "Normal"-Granit mit 2% K, 4g U/t und 12g Th/t.

Vom Kalium stammen 10^3 §).0,02 .44,3.$\frac{1}{2}$ = 443 Imp/min

Vom Uran und seinen Folgeprodukten stammen[3] 6,8 .10^6 §).4.10^{-6}.44,3.$\frac{1}{2}$= 601 "

Vom Thorium und seinen Folgeprodukten stammen[3] 1,9-.10^6 §).12.10^{-6}.44,3.$\frac{1}{2}$ = 505 "

Zusammen rund 1550 "

Beispiel 2

Ein analysierter Sprudelkalk (vgl. Seite 43) mit 0,8% K, 0,02% U, 45 g Th/t.

Vom Kalium stammen 10^3 §).0,008 .44,3.$\frac{1}{2}$= 117 Imp/min

Vom Uran u. seinen Folgeprodukten stammen[3] 6,8 .10^6 §).0,0002.44,3 $\frac{1}{2}$=30 000 "

Vom Thorium und seinen Folgeprodukten zusammen[3] 1,9.10^6 §) . 45 . 10^{-6}.44,3.$\frac{1}{2}$=1 900 "

Zusammen rund 32 000 "

Registriert wurden 22 000 "

1) Dichte von Natrium-Jodid : 3,62 g/cm^3 .

2) Daß die Strahlungsintensität an der (ebenen) Oberfläche des Gesteinskörpers halb so groß ist wie im Innern, folgt aus einfachen geometrischen Erwägungen.

3) Unter der Annahme radioaktiven Gleichgewichts.

§) Aus Spalte VI, Tab. 1

Für die Differenz zwischen dem errechneten und gemessenen Wert kommen hauptsächlich vier Ursachen in Frage:

1) Die Annahme, daß der Meßkopf das an seinem Orte herrschende Strahlungsfeld nur in vernachlässigbarer Weise schwächt, trifft nicht zu (vgl. Fußnote 3 auf Seite 9).

2) Nicht alle Lichtblitze des Zählerkristalls werden vom Sekundärelektronen-Vervielfacher registriert, sondern nur etwa 80%.

3) Die Voraussetzung radioaktiven Gleichgewichts ist möglicherweise nicht erfüllt.

4) Der Strahlergehalt ist nicht gleichmässig im Gestein verteilt. Die analysierte Probe kann einen vom Durchschnitt des für die Anzeige verantwortlichen Gesteinsbereiches abweichenden Strahlergehalt besitzen.

b) Die Gammastrahlung der in der Bodenluft enthaltenen Radium-Emanation und ihrer Folgeprodukte

Der Gehalt der Bodenluft an Radon schwankt zeitlich und räumlich stark. Die angegebenen Mittelwerte für den obersten Meter der Bodendecke liegen zwischen 2.10^{-13}C Rn/cm^{3}Bodenluft (Ch. Wierczeyko 1952) und 5.10^{-13}C Rn/cm^{3}Bodenluft (Z. Hatuda, 1953).

Bei Zugrundelegen eines mittleren Gehaltes von 3.10^{-13} C/cm^3, einer Bodenporosität von 25% und einer Bodendichte von 1,8 g/cm^3 ergibt sich ein Emanationsgehalt von

$$4{,}2 \cdot 10^{-13}\text{C Rn/ g Bodenbedeckung.}$$

Für die Gammastrahlung des in der Bodenluft enthaltenen Radons und seiner Zerfallsprodukte gelten die im vorigen

Abschnitt a) angestellten Überlegungen[1]. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß einem Curie Radon eine Gleichgewichtsmenge von $2{,}8.10^{6}$g Uran entspricht, führt die entsprechende Rechnung auf eine Impulsrate von

150 Imp/min.

Die Zahl der von der Gammastrahlung der Bodenluft herrührenden Impulse beträgt damit im Mittel weniger als 10% der des Gesteins (vgl. Beispiel 1, Seite 11). Sie ist damit von der gleichen Größenordnung wie die Anzeigeschwankungen, die auf die Inhomogenität der Gesteine zurückzuführen sind. Selbst größere Schwankungen des Emanationsgehaltes der Bodenluft, die bei Emanometermessungen[2] auf Störungszonen deuten können, werden daher vom Szintillometer im allgemeinen nicht erfaßt.

c) Die Gammastrahlung der atmosphärischen Radium-Emanation und ihrer kurzlebigen Folgeprodukte

Durch Diffusion gelangt ein Teil der in der Bodenluft enthaltenen Emanation in die Atmosphäre, wird hier von der Luftbewegung erfaßt und mehr oder weniger weit verteilt. Der gemessene Radongehalt der Luft schwankt infolgedessen räumlich und zeitlich, wobei sich besonders meteorologische Einflüsse geltend machen. Die von verschiedenen Autoren angegebenen Mittelwerte zeigen daher keine Einheitlichkeit.

---

1) Eine Modifizierung besteht lediglich darin, daß die vom UX_1 und UX_2/UZ herrührende Gammastrahlung jetzt nicht auftritt. Diese Tatsache ist in der Rechnung berücksichtigt.

2) Durch "Emanometermessungen" wird der Radongehalt der Bodenluft bestimmt: In einer Ionisationskammer wird die durch die Alphastrahlung des Radons und seiner kurzlebigen Folgeprodukte erzeugte Ionisation gemessen.

Als Beispiele seien mitgeteilt:

Chicago	$0,1.10^{-15}$ C Rn/cm^{3}Luft		(G.C.Ashman, 1908)
Innsbruck	$0,3.10^{-15}$	"	(J.A. Preibsch,
Hafelekar bei Innsbruck	$0,1.10^{-15}$		G.Radinger, P.L.Dymek, 193
Val-Joyeux bei Versailles	$0,8.10^{-15}$	"	(O.Tanaevsky,
kurzzeitig bis	$7 .10^{-15}$	"	F.Vassy, 1955)
London sonnige Tage	$2 -3 .10^{-15}$	"	(W.Anderson,
Nebel bis	$40 .10^{-15}$	"	W.V.Mayneord, R.C.Turner, 1954)

Die Zerfallsprodukte des Radons lagern sich überwiegend an Dunstteilchen an und werden mit ihnen niedergeschlagen (Č. Jech, 1949). Im allgemeinen steht das Radon im Gleichgewicht mit seinen kurzlebigen Folgeprodukten RaA bis RaC (K. Schwalb, 1941).

Für die Streuung und Absorption der Gammastrahlen in Luft gelten dieselben Überlegungen, wie sie in Abschnitt a) (Seite für einen Gesteinskörper entwickelt wurden, denn diese Überlegungen sind unabhängig von der Dichte des streuenden Mediums. Unter zugrundelegen eines atmosphärischen Gehaltes von

$$0,5.10^{-15} \text{ C Rn/cm}^3\text{Luft}$$

ergibt die entsprechende Rechnung

150 Imp/min.

Eine Messung der Impulsrate auf dem Staffelsee in Uferferne er 180 Imp/min. Da die Gammastrahlung des Süßwassers vernachlässi ist, rührt diese Impulsrate lediglich vom Radongehalt der Atmo re und von der (vernachlässigbaren) Höhenstrahlung her .

d) Die Höhenstrahlung

Die Zahl der in Meereshöhe einfallenden Höhenstrahlen beträgt in geographischen Breiten nördlicher als $45^{\circ}N$

$$2{,}4.10^{-2} \text{ pro } cm^2 \text{ und sec. (B.Rossi, 1948)}$$

In 450 m über NN (mittlere Höhenlage des Rieses) ist sie etwa 10% höher. Da der Zählerkristall eine Querschnittfläche von ca. 5 cm^2 aufweist, wird er pro Minute von

$$2{,}6.10^{-2}.5.60 = 8$$

Höhenstrahlen getroffen. Selbst unter der Annahme, daß die Höhenstrahlung zu 100% registriert wird, bleibt ihr Beitrag zur Gesamtimpulsrate damit vernachlässigbar .

Die geologische Bedeutung der Meßgröße

Um eine Vorstellung darüber zu bekommen, wie sich die im vorigen Abschnitt besprochenen Anteile an der Impulsrate und ihre Schwankungen zum Gesamtbild der Messung zusammensetzen, betrachten wir ein den Verhältnissen in der Natur möglichst nahekommendes Beispiel: Die Grenze Granit - Süßwasserkalk sei durch ca. 50 cm lehmiger Überdeckung verborgen, die die Strahlung der liegenden Gesteine auf 1/4 schwächt. Wir wollen in Rechnung stellen, daß sich der Emanationsgehalt des Bodens örtlich um 100% ändern kann, während wir für den der Atmosphäre keine lokalen Unterschiede erwarten.

Als Impulswerte nehmen wir an:

1550 ± 10%	Imp/min	für den Granit	(vgl. Beisp. 1, S. 11)
400 ± 10%	"	für den Süßwasserkalk	(vgl. Tab. 3, S. 39)
1000 ± 10%	"	für die lehmige Überdeckung	(" " " " ")
150 ± 100%	"	für die Bodenemanation	(vgl. Seite 12)
150 -	"	für die atmosph. Emanation	(vgl. Seite 13)

Mit diesen Werten erhalten wir

Über dem Granit		Über dem Süßwasserkalk	
1/4 . (1550 ± 155)	Imp/min.	1/4 . (400 ± 40)	Imp/min.
3/4[§]).(1000 ± 100)	"	3/4[§]).(1000 ± 100)	"
150 ± 150	"	150 ± 150	"
150	"	150	"
1440 ± 264	"	1150 ± 235	"

§) Der Faktor 3/4 berücksichtigt, daß die lehmige Überdeckung nicht "unendlich" dick ist.

Diese Verhältnisse sind in Fig.3 dargestellt. Die punktierten Linien markieren die errechneten oberen und unteren Grenzen der Impulsrate, die ausgezogene Kurve ist das Stück eines Meßprofils, das über einer solchen verdeckten Grenze Granit - Süßwasserkalk gemessen wurde (Adlersberg bei Nördlingen). Der Verlauf dieser Meßkurve zeigt ebenso wie die angegebenen Grenzen, daß sich die geologische Deutung auf das Verhalten der Meßergebnisse im Großen stützen muß und lokalen Schwankungen allenfalls untergeordnete Bedeutung zukommt.

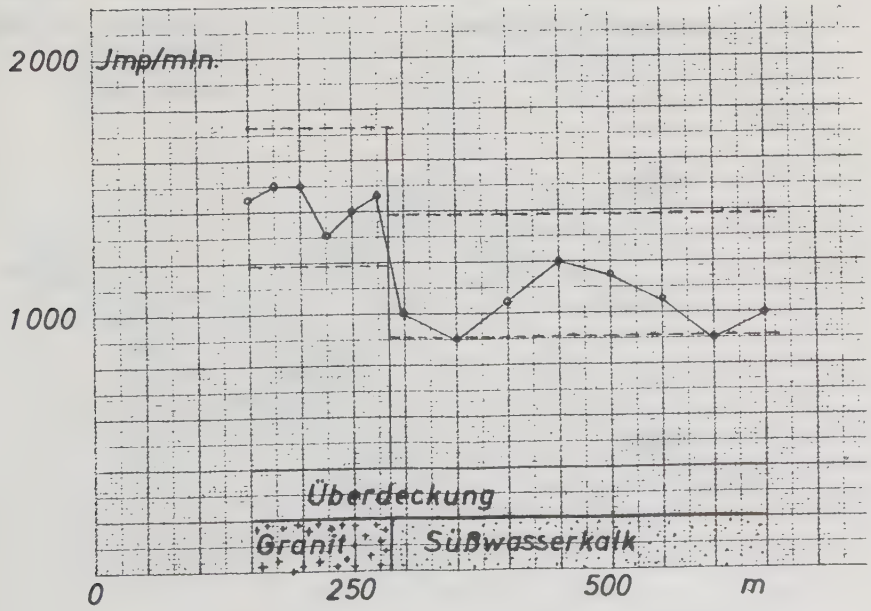


Fig.3 Impulsraten über einer verdeckten Grenze Granit-Süßwasserkalk .

Zu den geschilderten örtlichen Schwankungen der Strahlungsintensität gesellen sich die durch zeitliche Änderungen des Emanationsgehaltes von Bodenluft und Atmosphäre hervorgerufenen zeitlichen Schwankungen. Da sich diese Änderungen aber im allgemeinen im Verlauf von Stunden oder Tagen vollziehen, ist ihr Einfluß auf den Verlauf eines Meßprofiles weniger bedeutend.

Aus diesen Überlegungen folgt, daß man an die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse keine allzustrengen Forderungen stellen darf. Ein typisches Beispiel für die erzielte Übereinstimmung zwischen zwei Vermessungen desselben Profils (Wennenberg, 30.8.1956 und 11.11.1956) zeigt Fig. 4. Bildet

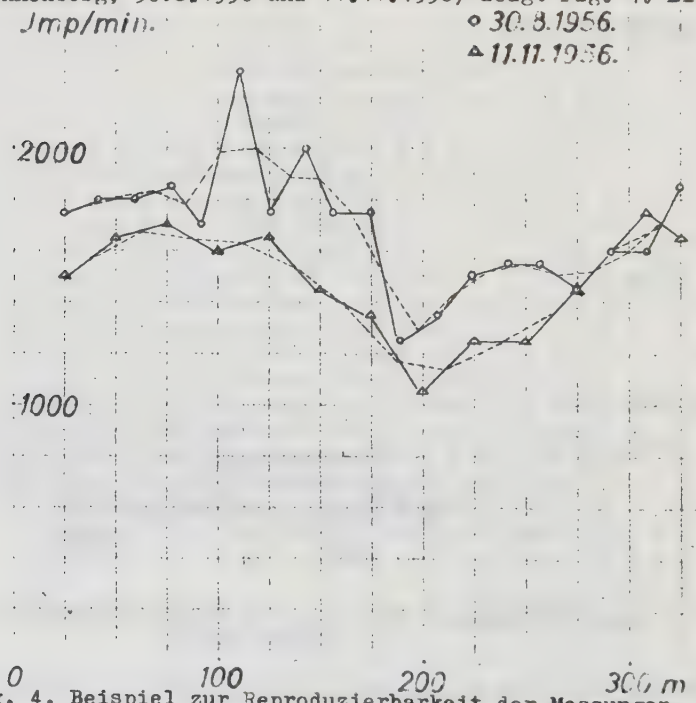


Fig. 4. Beispiel zur Reproduzierbarkeit der Messungen

man noch, um den Einfluß der örtlichen Inhomogenitäten zu reduzieren, den Mittelwert zwischen je zwei benachbarten Meßwerten, so erhält man Kurvenzüge (punktiert gezeichnet), die weitgehend parallel verlaufen und im Rahmen des geologisch Bedeutungsvollen übereinstimmende Aussagen liefern.

B. BESCHREIBUNG DER MESSERGEBNISSE

Allgemeines

Für die Auswahl der Meßgebiete innerhalb des Rieses waren folgende Gesichtspunkte maßgebend :

Das Meßgebiet sollte für die geologischen Verhältnisse des Rieses charakteristisch sein.

Die angetroffenen Gesteine sollten möglichst deutliche Aktivitätsunterschiede aufweisen.

Der Anteil an allochthoner Überdeckung sollte keine große Rolle spielen.

Nach Möglichkeit sollte eine geologische Spezialkartierung 1 : 25 000 vorliegen.

Die auf Grund dieser Überlegungen an Hand von Profilen mehr oder weniger genau vermessenen Gebiete sind in der Übersichtskarte der Fig. 5 durch Kreise a) bis f) markiert:

a) Marktoffingen - Maihingen

b) Der Reisberg bei Pflaumloch

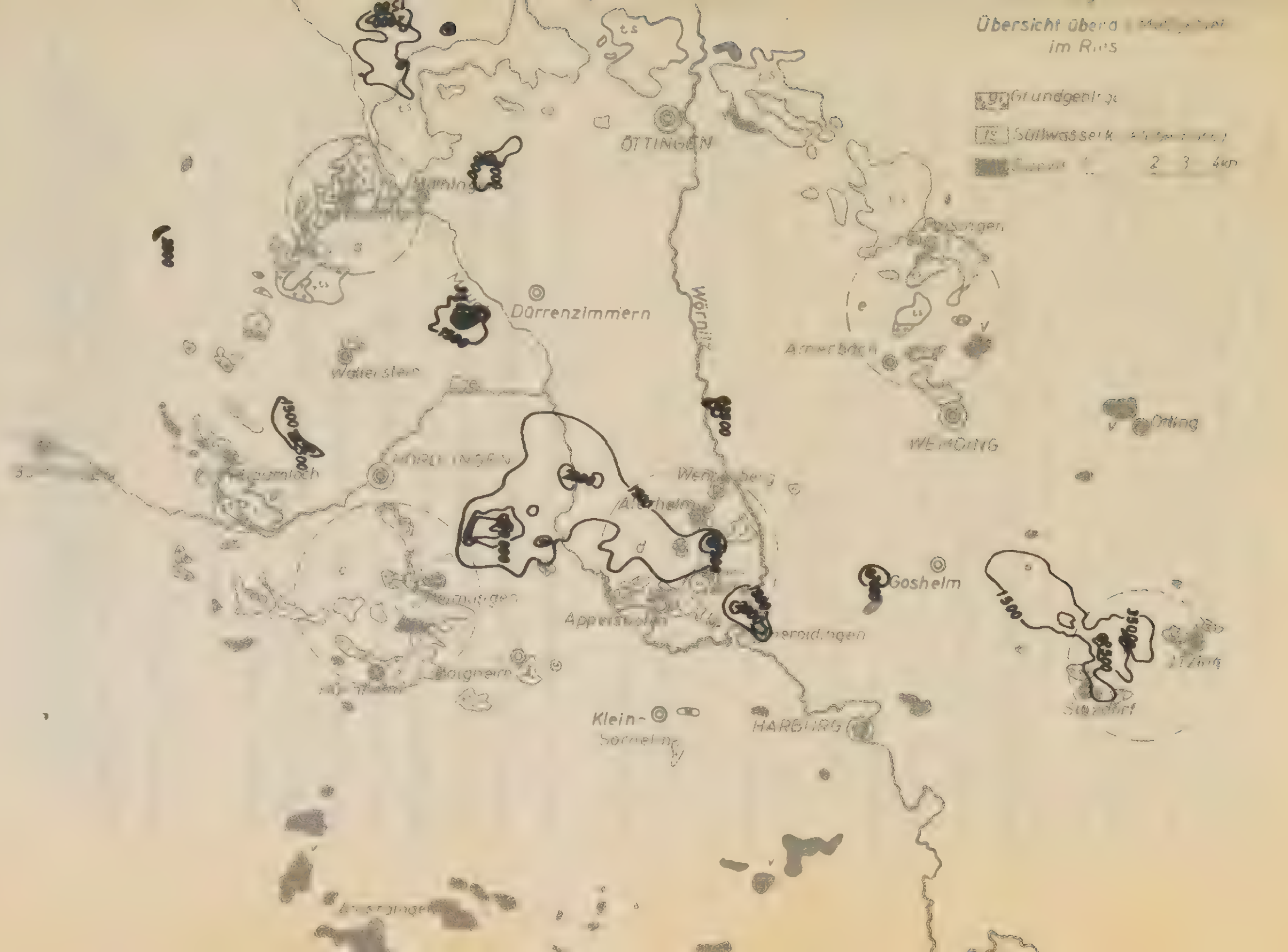
c) Nördlingen - Reimlingen - Hürnheim

d) Alerheim - Appetshofen

e) Amerbach - Polsingen

f) Sulzdorf - Itzing

Die Fig. 5 gibt außerdem einen Überblick über die Verbreitung der für das Ries besonders charakteristischen Gesteine



Übersicht über
im Ries
Grundgebirge
Süßwasserk
2 3 4km
ÖTTINGEN
Wörnitz
Dürrenzimmern
Amerbach
WEMDING
Otting
Wallerstein
Goshelm
Appetshofen
Klein-
HARBURG
1500

[illegible] BESCHREIBUNG DER MESSERGEBNISSE

Allgemeines

[illegible] Meßgebiete innerhalb des Rieses waren folgende Gesichtspunkte maßgebend :

Das Meßgebiet sollte für die geologischen Verhältnisse des Rieses charakteristisch sein.

Die angetroffenen Gesteine sollten möglichst deutliche Aktivitätsunterschiede aufweisen.

Der Anteil an allochthoner Überdeckung sollte keine große Rolle spielen.

Nach Möglichkeit sollte [illegible] Spezialkartierung 1 : 25 000 vorliegen.

[illegible] von Profilen mehr [illegible] Gebiete sind in der Übersichtskarte [illegible] Fig. [illegible] a) bis f) markiert.

a) Marktoffingen - Maihingen

b) Der Reisberg bei Pflaumloch

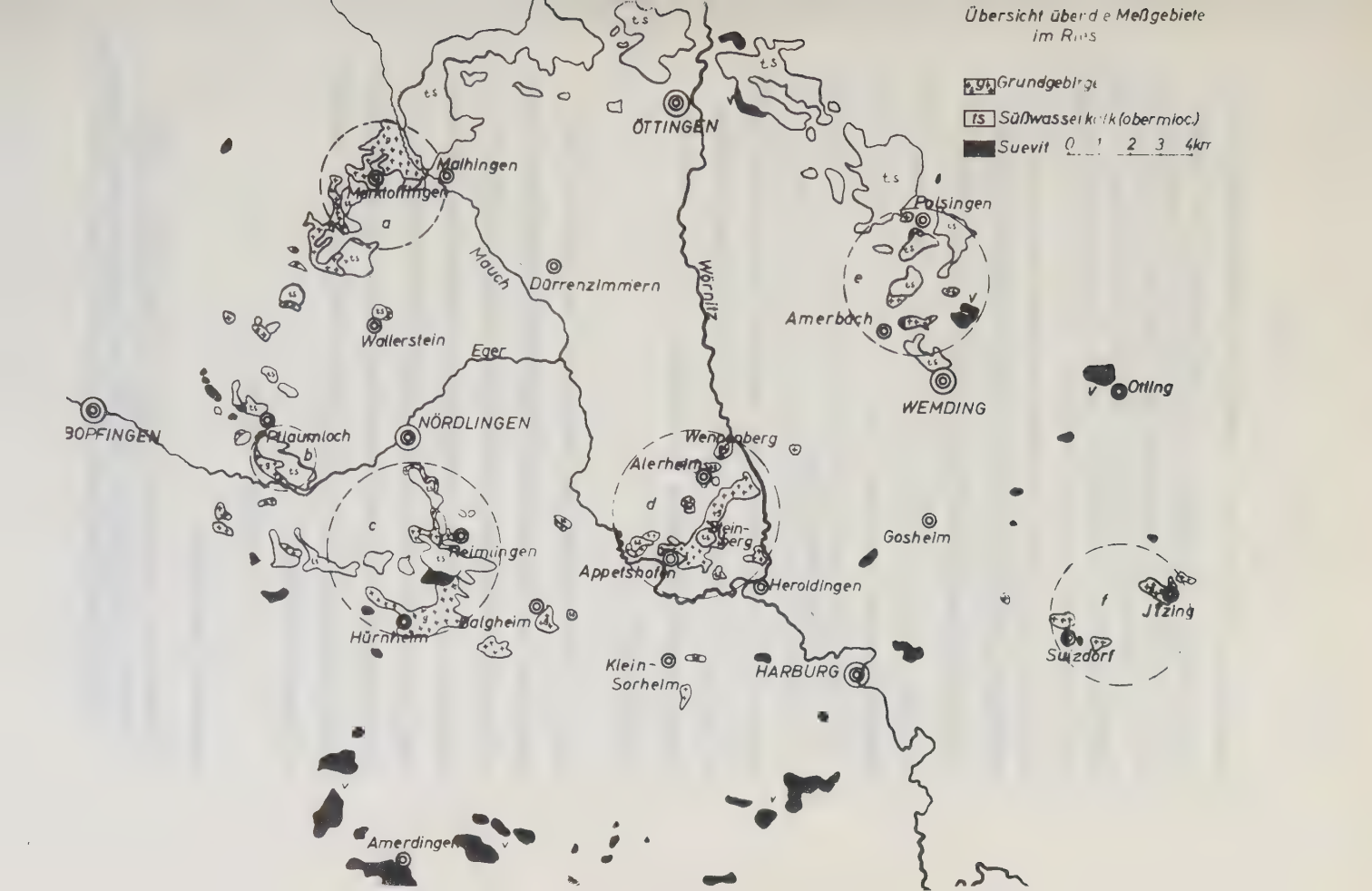
c) Nördlingen - Reimlingen - Hürnheim

d) Alerheim - Appetshofen

e) Amerbach - Polsingen

f) Sulzdorf - Itzing

[illegible] einen Überblick über die Verbreitung [illegible] besonders charakteristischen Gesteine


Übersicht über die Meßgebiete im Ries
Grundgebirge
ts Süßwasserkalk (obermiocl.)
Suevit 0 1 2 3 4km
ÖTTINGEN
Mallhingen
Marktoffingen
a
Mauch
Dürrenzimmern
Wörnitz
Polsingen
e
Amerbach
WEMDING
Otting
Wallerstein
Eger
NÖRDLINGEN
BOPFINGEN
Pflaumloch
b
Wengenberg
Alerheim
d
Klein-berg
Gosheim
c
Reimlingen
Appetshofen
Heroldingen
Hürnheim
Balgheim
f
Utzing
Suizdorf
Klein-Sorheim
HARBURG
Amerdingen

Grundgebirge, Suevit (sog. "Traß") und Süßwasserkalk (Obermiozän) nach der Aufnahme 1 : 100 000 von C.W. von Gümbel 1888 und 1891[1]. Die Vorkommen von Gliedern der mesozoischen Schichtfolge Keuper bis Malm sind nicht eingetragen, um die Übersichtlichkeit nicht zu gefährden. Das radioaktive Verhalten dieser mesozoischen Schichten wurde am Hesselberg(ca. 14 km NNW Öttingen) in einem von den Vorgängen der Riesbildung nicht mehr betroffenen Gebiet im Zusammenhang untersucht. Die Meßergebnisse aus diesem Gebiet werden in einem besonderen Abschnitt

g) der Hesselberg

dargestellt. Es sei schon hier bemerkt, daß im Ries selbst die teilweise stark zerrütteten bis vergriesten Vorkommen dieser Schichtfolge keine Abweichungen in ihrer Aktivität erkennen ließen.

Außer den Vermessungen der Gebiete a) bis g) wurde noch eine große Zahl kursorischer Begehungen durchgeführt, u.a. der Suevitvorkommen von Hainsfarth, Otting, Bollstadt-Amerdingen, der Süßwasserkalke des Goldberges bei Pflaumloch, des Wallersteins und des kleinen Hühnerberges bei Klein-Sorheim sowie des Steinheimer Beckens. Die Ergebnisse dieser Messungen sind von gleicher Wichtigkeit und werden in einem Abschnitt

h) sonstige Gebiete

gesondert besprochen.

1) Obwohl die inzwischen erfolgten Neuaufnahmen, insbesondere die Spezialkartierungen 1:25 000 eine Fülle wichtiger Ergänzungen und Berichtigungen erbracht haben, ist die Gümbelsche Karte als Übersicht immer noch wertvoll.

Als Bezugswert für die Beurteilung der Impulsraten als hoch oder niedrig kann der über lößlehmiger Überdeckung und Alluvionen gemessene Wert von durchschnittlich 1000 Imp/min gelten.

Am Schluß dieses Kapitels (Seite 39) sind die gemessenen Gesteinsaktivitäten in Tabelle 3 noch einmal zusammengestellt.

Die Messungen wurden in der Zeit vom 28.8. bis 14.11.1956 durchgeführt. Von besonders wichtigen Lokalitäten wurden für die nachfolgenden autoradiographischen Untersuchungen Proben entnommen.

Die einzelnen Meßgebiete

a) Marktoffingen-Maihingen

Die Grundgebirgsschollen des Gebietes von Marktoffingen-Maihingen bestehen hauptsächlich aus kristallinen Schiefern, insbesondere Gneisen.[1] Ihre Aktivität ist als mäßig zu bezeichnen. Die Impulsraten am Anstehenden, das besonders am linken Mauchufer NW Maihingen gut aufgeschlossen ist, belaufen sich auf 1800 bis 2000 Imp/min., die weniger häufigen granitischen Vorkommen erreichen 2300 Imp/min. Eine mit zerblasenem Grundgebirge ("reines Explosionsprodukt") erfüllter Gang zeigt keine Impulsratenänderung gegenüber den angrenzenden Gneisen.

Über autochthoner Verwitterungsdecke, auf den Feldern werden im allgemeinen um 1400 Imp/min gemessen.

Der im Gebiet verbreitete obermiozäne Süßwasserkalk ist am Ulrichsberg W Maihingen in einer Anzahl von Gruben aufgeschlossen. Hier wurden Impulsraten von 1200 bis 1400 Imp/min. festgestellt, über autochthonen Böden ca. 1100 Imp/min.

Weißjuravorkommen heben sich durch noch tiefere Impulsraten (ca. 1000 Imp/min.) ab.

---

1) Mit diesen Vorkommen hat sich besonders W.Ackermann (1956) eingehend befaßt.

Als außergewöhnlich müssen die Verhältnisse an einem Aufschluß am nördlichen Ortsausgang Marktoffingens bezeichnet werden. Von diesem Aufschluß gibt C.W. von Gümbel (1870) folgende Beschreibung:

"Am Grund dieser Grube beobachtet man auf der Nordseite einen mittelkörnigen, rötlichen Granit, welcher sich gegen die Höhe des Straßengehänges aufwärts zieht und von einem Gange pegmatitartigen Granits durchsetzt wird. Der Granit sieht gewissen Varietäten des Spessarts sehr ähnlich und enthält in feinsten Pünktchen ein Orthit-ähnliches Mineral. Ein schmaler Schwerspatgang durchzieht an dieser Stelle den Granit.
Der Südteil des Untergrundes ist aus grauem Glimmergneis gebildet. Granit und Gneis endigen nach oben in einer sehr unebenen, bald vorspringenden, bald vertieften Oberfläche. Diesen Unebenheiten folgend legt sich darüber Quarzsandstein, der in eine Art Quarzbreccie verläuft und große Ähnlichkeit mit dem sog. Braunkohlensandstein besitzt. Erst auf diese, ebenfalls sehr uneben abgesetzten Sandsteinlagen folgt der vulkanische Tuff, der unten vollgespickt ist mit Urgebirgsfragmenten und an einzelnen Punkten fast reine Urgebirgsbreccie darstellt, nach oben dagegen in reinen Tuff verläuft. Dieser Tuff wird in einer nahezu horizontalen, schwach welligen Lage von zuunterst sandigen, wohlgeschichteten Bänken eines Süßwasserkalkes voll Cypris und Paludinen (der kleinen Litorinella acuta) bedeckt, denen höher dann unregelmäßige Süßwasserkalkmassen von wulstiger, schaliger Absonderung - die sog. Schneckenkalke - folgen."

Die heutigen Aufschlußverhältnisse sind weniger günstig und lassen nur das Kristallin, eine Übergangszone und den überlagernden Süßwasserkalk erkennen. Während die Impulsraten am Kristallin (Granit bis 2200 Imp/min) und an den höheren Teilen des Süßwasserkalkes (1200 bis 1400 Imp/min) sich im üblichen Rahmen halten, zeigt die Übergangszone bis zu 7000 Imp/min. Wir haben es hier mit einer Anreicherung strahlenden Materials zu tun, die eine besondere Erklärung verlangt und offenbar im Zusammenhang mit den komplexen Vorgängen steht, die sich in der Gümbelschen Profilbeschreibung dokumentieren.

Im Abschnitt D. "Geologische Deutung der Meßergebnisse" (Seite 44 ff) werden wir auf diesen Befund zurückzukommen haben.

Als typisches Beispiel für das beschriebene Verhalten der Gesteine ist in Fig. 6 das Meßprofil Utzwingen – Marktoffingen wiedergegeben; Grundgebirgsareale heben sich durch erhöhte Impulsraten mehr oder weniger gut heraus. Die erhöhte Impulsrate über den Süßwasserkalk nahe dem Ortsausgang von Marktoffingen ist durch die oben geschilderten ungewöhnlichen Verhältnisse bedingt.

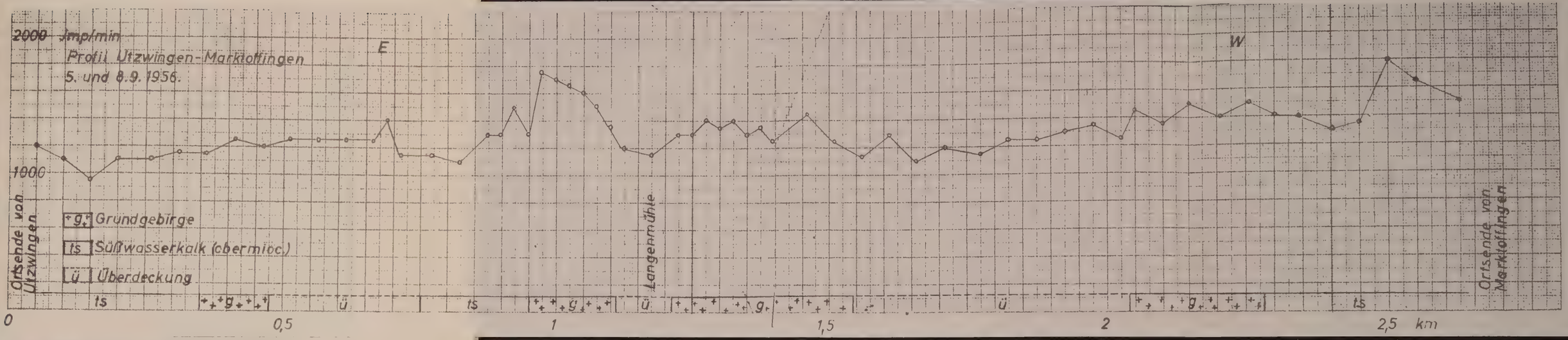


Fig. 6. Meßprofil Utzwingen - Marktoffingen .

b) Der Reisberg .

Der in einer verwachsenen Grube nur schlecht erschlossene Gipfel des Reisberges fiel durch eine im Vergleich zu seiner Umgebung (1000 Imp/min) ungewöhnlich hohe Impulsrate (bis 2 500 Imp/min) auf. Die geologische Karte (Blatt Ederheim, H.Nathan 1935) verzeichnet hier die Grenze zwischen Grundgebirge und überlagerndem obermiozänen Süßwasserkalk. Da ein Bodeneinschlag keinen Hinweis auf die Ursache der Anomalie erbrachte, wurde das Gebiet mit einem Netz von Meßpunkten überzogen und die Anomalie genau

lokalisiert. Das Ergebnis ist in Fig.7 wiedergegeben :
Über der topographischen Skizze sind auf dem transparenten Deckblatt die Linien gleicher Impulsraten (die "Isoraden") in Abständen von je 250 Imp/min eingetragen. Danach erstreckt sich das Gebiet erhöhter Aktivität ebenso auf die als Grundgebirge wie auf die als Süßwasserkalk kartierten Flächen. Bemerkenswerter Weise ergab ein ca. 300 m S des Gipfels am Wegrand liegender großer Block von Süßwasserkalk bei Annäherung des Meßgerätes eine deutliche Impulsratenerhöhung. Aus diesem Grunde neigt der Verfasser der Ansicht zu, daß die festgestellte Anomalie einem erhöhten Strahlergehalt des Süßwasserkalkes zuzuschreiben ist, möglicherweise in dem Sinne einer besonderen Anreicherung in der Übergangszone zum Grundgebirge, ähnlich wie bei Marktoffingen.

Fig.7. Isoradenplan des Reisberges.
Masstab 1 : 5 000

c) Nördlingen - Reimlingen - Hürnheim

Die in diesem Gebiet liegenden Vorkommen von Grundgebirge, Malmkalken und Süßwasserkalken zeigen weitgehend das gleiche Verhalten wie die entsprechenden Gesteine bei Marktoffingen. Als Beispiel ist das Profil Nördlingen-Reimlingen in Fig. 8 wiedergegeben. Wie ersichtlich, sind die Änderungen der Impulsrate über den einzelnen Gesteinen allgemein wenig ausgeprägt und liefern keine Hinweise auf außerordentliche Verhältnisse.

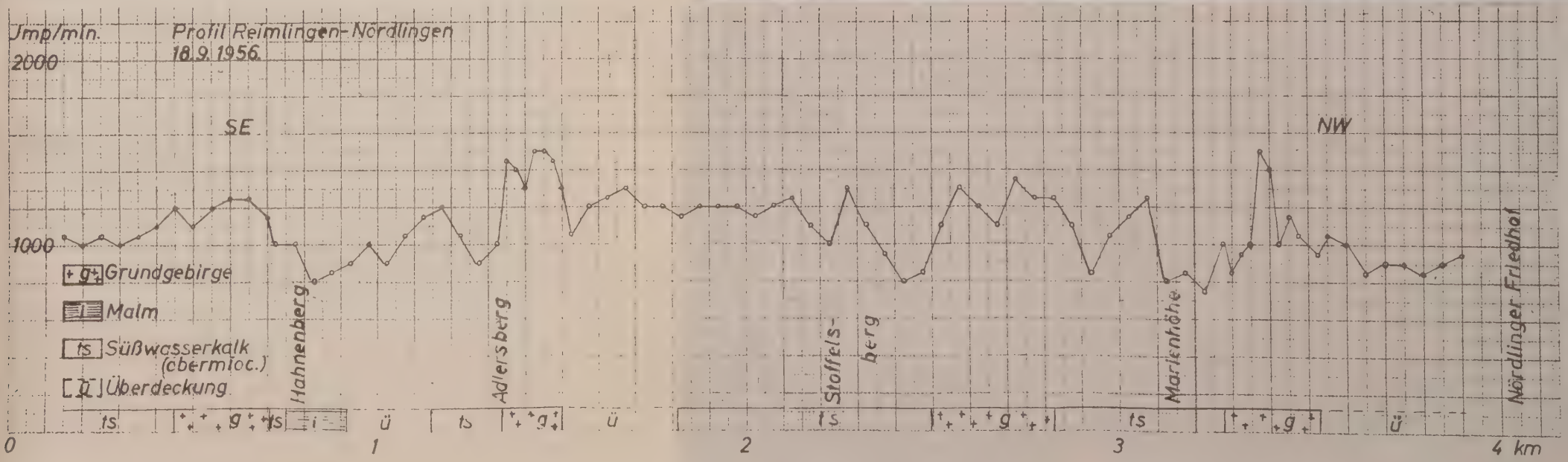


Fig.8. Meßprofil Reimlingen - Nördlingen .

Die Suevitvorkommen N Hürnheim und W Schmähingen lassen ebenfalls keine Aktivitätsunterschiede gegenüber ihrer Umgebung erkennen.

Die Auflagerungsgrenze von obermiozänem Süßwasserkalk auf Grundgebirge, die am Fuße des Süßwasserkalkfelsens auf der Marienhöhe bei Nördlingen zu beobachten ist, zeigt keine ungewöhnlichen Impulsraten, ebensowenig wie der Grundgebirgsaufschluß hinter "Meyers Keller".

Dagegen wurde eine besonders hohe Impulsrate (4000 Imp/min) in einer Baugrube hinter dem benachbarten "Weißbierkeller" (ca. 250 m SE vom Gipfel der Marienhöhe) festgestellt. Die gut aufgeschlossenen Schichten bestanden aus einer steilgestellten Wechsellagerung von verschieden mächtigen Lagen eines grünlichen Tones und eines hellen, mergeligen Kalksandsteins.[1] Obwohl die Fossilsuche erfolglos blieb, ist auf Grund fazieller Vergleiche anzunehmen, daß es sich nicht um mesozoische sondern tertiäre Sedimente handelt. Die genauere Altersstellung ist unbestimmt, die Steilstellung der Schichten weist jedoch auf Ablagerung vor der Riesentstehung hin.

1) 75% dieses Kalksandsteins lösen sich in Salzsäure.

d) Alerheim-Appetshofen

In dem Meßgebiet von Alerheim - Appetshofen liegen als klassische Stätten der Riesgeologie der Wennenberg (Grundgebirge mit Lamprophyrgang, Süßwasserkalk), der Steinberg (Süßwasserkalke, z.T. als Quellsinter gedeutet) und der Hahnenberg (Süßwasserkalke mit fossilen Resten einer reichen Vogelwelt). Entsprechend ihrer Bedeutung wurden diese drei Lokalitäten mit einem besonders dichten Netz von Meßpunkten überzogen und untereinander durch Profile verbunden.

Einen Überblick über die Meßergebnisse gibt Fig.9. Sie gibt auf der topographischen Karte 1:25 000 die geologischen Verhältnisse in leicht vereinfachter Form wieder, nach den Kartierungen 1:25 000 der Blätter Möttingen (H.Nathan, 1925), Wemding (E.Weber,1941) und Harburg (J. Schröder-R.Dehm,1950). Das transparente Deckblatt zeigt die Linien gleicher Impulsraten in Abständen von je 500 Imp/min.

Außerordentlich markant zeichnen sich die hohen Impulsraten des S t e i n b e r g e s ab. Er zeigt an seinem Gipfel mit 22 000 Imp/min die mit Abstand höchste, im Ries überhaupt gemessene Impulsrate.[1] Fig. 10 gibt als vergrößerten Ausschnitt aus Fig.9 den Isoradenplan des Steinberges wieder. Da in der Gipfelregion zahlreiche, z.T. wieder verwach-

1) Nach den später zu besprechenden chemischen und radiometrischen Analysen geht diese hohe Impulsrate auf einen Gehalt von 200 g Uran/t Gestein zurück.

Fig. 9
Das Gebiet von Alerheim-Lierheim
Vereinfachte geologische Darstellung nach
H. Nathan (1925), J. Schröder - R. Dehm (1950)
und E. Weber (1941).
Maßstab 1:25000
g Grundgeb.
b bunte Trümmermassen
j Malm
ts Süßwasserkalk (obermioc)
Alerheim
Wornitzostheim
Lierheim
Heroldingen
Eger
Bhf.
XXXV
96
97
31
98
421
420
422
412
405
419
418
407
411
410
406

Fig. 10. Isoradenplan des Steinberges

Masstab 1 : 5 000

sene Gruben angelegt sind, in denen der Kalk gelegentlich abgebaut wird, wechseln die angetroffenen Impulsraten hier auf kürzeste Entfernungen, sodaß sich die Aufstellung eines Isoradenplanes in der unmittelbaren Umgebung des Gipfels verbietet. Generell ist festzustellen, daß unmittelbar am Gipfel die höchsten Impulsraten registriert

werden und nach dem Fuße des Berges zu, teilweise infolge zunehmender Mächtigkeit der Verwitterungsdecke, eine Abnahme erfolgt.

Die hohe Anomalie (bis 3 600 Imp/min) ca. 1000 m W des Steinberggipfels auf den Äckern n ö r d l i c h A p p e t s h o f e n ist ebenfalls auf Süßwasserkalk zurückzuführen, wie zahlreiche Lesesteine an Ort und Stelle bekunden.

Der aus Süßwasserkalk aufgebaute A l e r h e i m e r B u r g b e r g zeigt auf seinem Gipfel gleichfalls deutlich erhöhte Impulsraten, wenn auch in weniger starken Ausmaß (bis 2700 Imp/min). Gleiches gilt von den Süßwasserkalkvorkommen der nördlich des Steinberges gelegenen Hügel und vom H a h n e n b e r g. Hier scheint die Aktivität der Tertiärkalke indessen auszuklingen. Dafür tritt das Kristallin mit erhöhten Impulsraten in den Vordergrund.

Das gilt ganz besonders vom W e n n e n b e r g. Fig. 11 zeigt als vergrößerten Ausschnitt aus Fig.9 den Isoradenplan des Wennenberges. Die Süßwasserkalke treten hier bereits

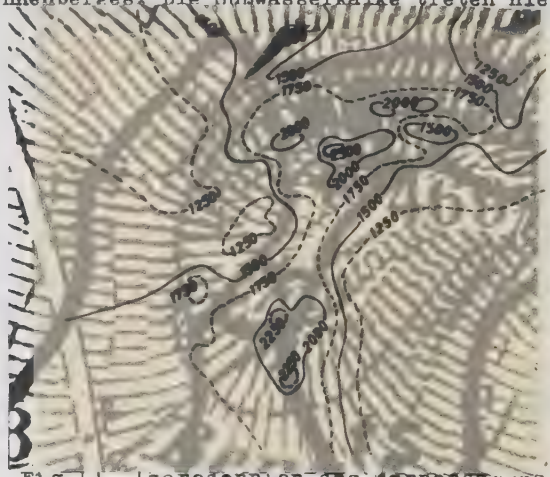


Fig.11. Isoradenplan des Wennenberges
Maßstab 1:5000.

als besonders inaktiv in Erscheinung (1000 bis 1500 Imp/min), während der in dem bekannten Bruch auf der E-Seite des Berges anstehende "Biotitgranit" (3500 Imp/min) und in besonders auffälliger Weise der lamprophyrische Gang von "Wennebergit" (4200 Imp/min) die für das Rieskristallin höchsten Impulsraten aufweisen.[1] Auffällig ist ferner eine lokal eng begrenzte Anomalie am Nordfuß des Wennenberges. Ein Bodeneinschlag an dieser Stelle förderte Brocken von Süßwasserkalk, Granit und Wennebergit zu Tage. Wahrscheinlich ist diese Anomalie auf eine in geringer Tiefe anstehende Fortsetzung des Wennebergitganges zurückzuführen, in dessen Streichrichtung sie liegt.

Der Aufschluß am SW-Fuß des L i e r h e i m e r Schloßberges ist die Typuslokalität für den rötlichen "Lierheimer Granit". Im "tiefen Weg" E Appetshofen steht im Zusammenhang mit bunten Trümmermassen das gleiche Material in stark zerdrücktem Zustand an. Beide Lokalitäten weisen am Anstehenden Impulsraten von durchschnittlich 2500 Imp/min auf.

Zusammenfassend läßt sich feststellen: Das Alerheim-Appetshofener Gebiet zeichnet sich durch die höchste Aktivität sowohl der Süßwasserkalke wie auch des Kristallins aus und nimmt damit innerhalb des Rieses eine Sonderstellung ein, deren geologische Bedeutung später erörtert wird. Im Unterschied von dem Marktoffinger Vorkommen sind besonders die Gipfelregionen der Süswasserkalke aktiv. Die hohen Aktivitäten sind auf eine besonders starke Urankonzentration zurückzuführen.

1) E.Weber (1941) gibt unter Berücksichtigung der älteren Literatur eine eingehende Beschreibung beider Gesteine.

e) Amerbach - Polsingen

Das Gebiet um Amerbach und Polsingen liegt auf dem von E. Weber (1941) kartierten Blatt Wemding. Es stellt ein ausgesprochenes Mosaik aus Schollen von Grundgebirge, Keuper, Dogger und Malm dar. Dazu treten Fundpunkte von Suevit und besonders im Norden des Gebietes ausgedehnte Vorkommen obermiozäner Süßwasserkalke.

Diese geologische Mannigfaltigkeit tritt jedoch im Bild der Meßwerte wenig in Erscheinung. Als typisches Beispiel ist in Fig. 12 ein Meßprofil östlich Amerbach wiedergegeben. Wenngleich die Tendenz zu höheren Impulsraten über dem

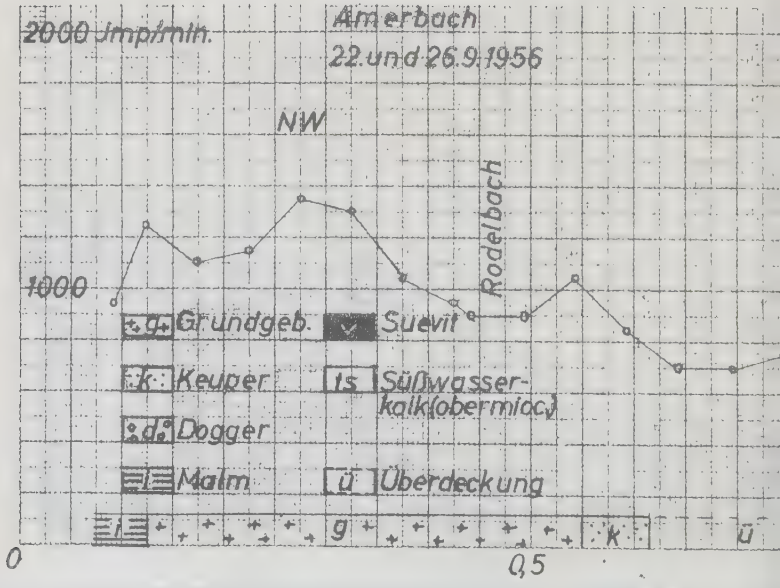
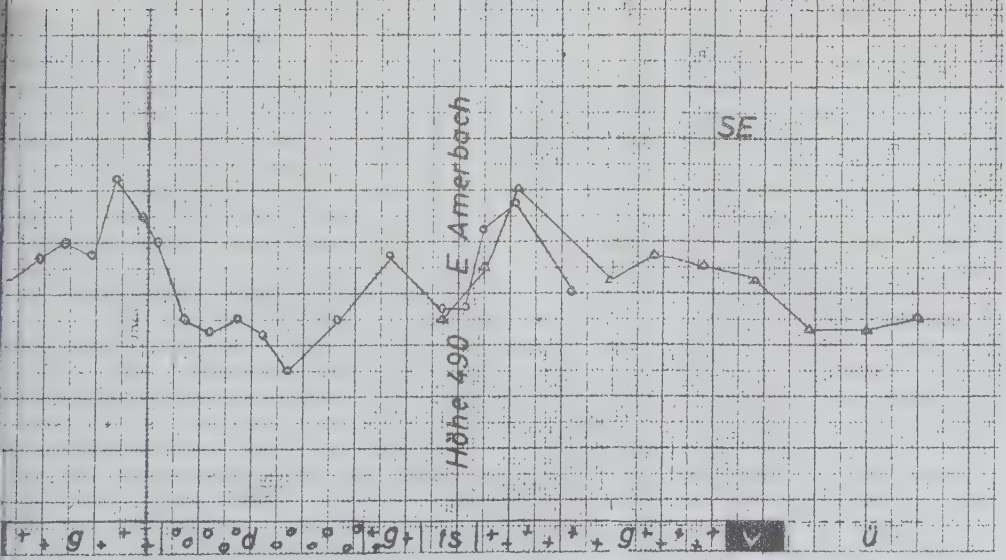


Fig.12. Meßprofil Amerbach.


SE
E Amerbach
Höhe 490
g
d
g
ls
g
V
Ü
1
1,5 km

Kristallin unverkennbar ist, erreichen die Impulsraten selbst hier kaum 1500 Imp/min. Die Süßwasserkalke sind mit durchschnittlich 900 Imp/min ebenfalls sehr gering aktiv.

In augenfälligem Gegensatz zu diesen niederen Impulsraten stehen lediglich die Suevitvorkommen des Amerbacher Bichl unmittelbar E Amerbach und des Polsinger Berges S Polsingen mit je 2600 Imp/min. Sie zeigen damit die höchste an Sueviten festgestellte Aktivität. Diese Tatsache ist insofern von Wichtigkeit, als diese beiden Vorkommen die einzigen sind, die von verschiedenen Autoren, so von E. Weber (1941), für anstehenden vulkanischen Schmelzfluß gehalten werden.

f) Sulzdorf - Itzing

Die Grundgebirgsvorkommen von Sulzdorf und Itzing im SE Vorries sind von besonderer Bedeutung für das Problem der "örtlichen Aufbrüche" (vgl. R.Behm 1931, H. Reich - W. Horrix 1955). Die Untersuchung dieser Gesteine diente der Frage, ob sich auf Grund der gemessenen Aktivitäten Schlüsse auf die Herkunft der Massen ziehen ließen. Die Frage muß verneint werden. Die angetroffenen Impulsraten unterscheiden sich in keiner Weise von dem aus dem Ries selbst gewohnten Bild:

Anstehender rötlicher Granit (dem Lierheimer Granit nahestehend) in der "Sandgrube" am NE Ortsausgang von Sulzdorf ergab um 2500 Imp/min, auf den Feldern NW davon wurden 1700 bis 2000 Imp/min gemesen .

In einer Grube 1000 m SW Itzing waren neben bunter Bresche kristalline Schiefer und Granit aufgeschlossen, die bis 3200 Imp/min ergaben. Auf den umliegenden Äckern wurde maximal 1800 Imp/min registriert.

g) Der Hesselberg

Um das radioaktive Verhalten der mesozoischen Schichtfolge Keuper bis Weißjura zu untersuchen, wurde ein Profil vom Hesselberg (ca. 14 km NNE Öttingen) aufgenommen, der diese Schichten im Verband aufweist. Das Ergebnis ist in Fig. 13 dargestellt.

Besondere Hervorhebung verdient die Tatsache, daß sämtliche Glieder dieser Sedimentserie recht geringaktiv sind. Innerhalb dieses Rahmens zeigen die tonigen Ablagerungen (z.B. Feuerletten, Amaltheenton) die relativ höchsten Aktivitäten, während die kalkigen (z.B. Arietenkalksandstein, Werkkalke des Malm) besonders geringaktiv sind.[1] Außer diesen faziellen Ursachen scheint sich in der Abnahme der Aktivität beim Aufstieg in immer jüngere Schichten der Umstand zu dokumentieren, daß die Ablagerung in immer größerer Entfernung vom Grundgebirge erfolgte. Wie schon früher betont wurde, zeigen die Vorkommen mesozoischer Gesteine im Ries selbst das gleiche Aktivitätsverhalten, auch wenn sie stark zerrüttet und verbrescht sind.

---

1) Die Sande und Sandsteine des Keupers, die am Hesselberg nicht anstehen, aber an vielen Punkten des Rieses gefunden werden, sind ebenfalls geringaktiv und fügen sich in das Bild ein, das uns die übrigen mesozoischen Schichten bieten.

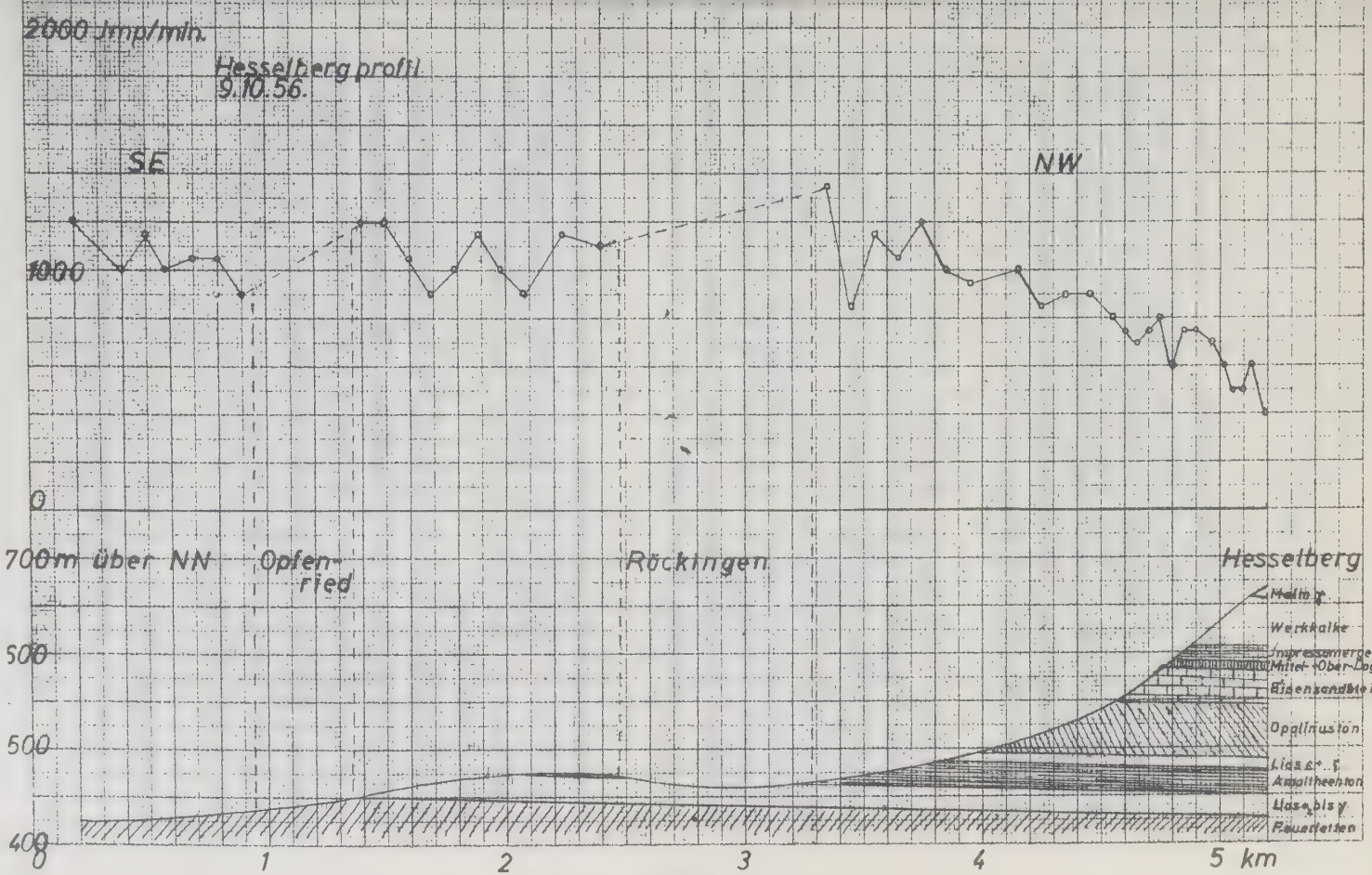

2000 Imp/min.
Hesselberg profil
9.10.56.
SE
NW
1000
0
700m über NN
500
500
400
Opfen-
ried
Röckingen
Hesselberg
Malm γ
Werkkalke
Impressamergel
Mittel-Ober-Dogger
Eisensandstein
Opalinuston
Lias ε" ζ
Amaltheenton
Lias α bis γ
Feuerletten
0
1
2
3
4
5 km

Fig. 13.

h) Sonstige Gebiete

Die Kenntnis des radioaktiven Verhaltens der im Ries anstehenden Gesteine, insbesondere des Grundgebirges, des Suevits und der Süßwasserkalke wurde durch zahlreiche kursorische Begehungen anderer Gebiete erweitert.

G r u n d g e b i r g s - Vorkommen wurden E Rudelstetten (im Waldabteil "Metzenau") anstehend mit 2300 bis 2800 Imp/min gemessen, auf den Äckern nördlich davon betrug die Impulsrate maximal 1200 Imp/min.

Das kleine Vorkommen rötlichen Granites bei Erlbach NW Öttingen (Blatt Öttingen, kartiert von K. Gerstlauer 1940) zeigte auf den Feldern bis 1500 Imp/Min.

In mehreren Traßbüchern wurde die Aktivität des anstehenden S u e v i t s gemessen. Es ergaben sich folgende Durchschnittswerte: Amerdingen-Bollstadt 1200, Hainsfarth 1900, Otting 1800 Imp/min.
An der Oberfläche des von H. Nathan (Blatt Ederheim, 1935) südlich der Papiermühle im Karthäusertal angegebenen Suevitausbruchspunktes konnte keine Änderung gegenüber der Weißjurakalk-Umgebung (800 Imp/min) festgestellt werden.
Das kleine Suevitvorkommen südlich des Goldberges bei Pflaumloch erbrachte 1200 Imp/min.

Ein Vorkommen von g r a n i t i s c h e m E x p l o s i o n s p r o d u k t wurde am Westhang des Schwalbenberges N Pünfstet-

ten untersucht. Hier ist "ein 10 bis 30 cm breiter, verästelter Gang, der einheitlich von einer graugrünen, zerreiblichen Masse erfüllt wird, auf eine Erstreckung von 10 m ununterbrochen verfolgbar" (R.Dehm,1931). Das Material ist "ein teilweise zersetztes Mineralpulver von Granit" (R.Dehm,1931). Dieser Gang zeigte mit 600 Imp/min eine geringfügig erhöhte Impulsrate gegenüber den umliegenden Kalken (400 Imp/min).

Obermiozäne S ü ß w a s s e r k a l k e wurden in größerer Zahl untersucht. Besonders der ganz aus Süßwasserkalk bestehende Goldberg und die nördlich anschließenden Kuppen waren Gegenstand eingehender Messungen: Die Hauptmasse der Kalke zeigt Impulsraten zwischen 600 und maximal 1900 Imp/min. Abweichend verhält sich das Material des kleinen Hügels unmittelbar N des Goldberges, in dem ein Steinbruchbetrieb eröffnet ist. Am Anstehenden werden hier 2700, an einer auf wenige Dezimeter beschränkten Stelle sogar 4000 Imp/min gemessen.

Die beim Strassenbau an der Höhe 433 S Großelfingen (auf Blatt Möttingen) aufgeschlossenen, äußerst harten, etwas gebankten Kalke erreichen ebenfalls 4000 Imp/min.

Der Süßwasserkalkfelsen des Wallersteines ist demgegenüber mit ca. 600 Imp/min sehr inaktiv, ebenso die Süßwasserkalkvorkommen vom kleinen Hühnerberg bei Klein-Sohrheim (700 bis 1000 Imp/min) und vom Balgheimer Hahnenberg (800 Imp/min) .

Zum Vergleich wurden außerdem die obermiozänen Süßwasserkalke des S t e i n h e i m e r B e c k e n s untersucht. Sie stellten sich mit Impulsraten von 200 bis 700 Imp/min als extrem inaktiv heraus.

T e r t i ä r e r S p a l t e n l e h m wurde in einem Weißjurakalkbruch bei Burgmagerbein mit 1100 bis 1300 Imp/Min gemessen.

Tertiäre grüne L e t t e n in einem Gelegenheitsaufschluß bei Fessenheim ergaben 1000 Imp/min.

Die B r a u n k o h l e n h a l d e eines Versuchsabbaues an der Bahnlinie zwischen Deiningen und Fessenheim ergab 1000 bis 1200 Imp/min.

Zu Tabelle 3

Die Tabelle 3 enthält für besonders typische Gesteine (Spalte I) und charakteristische Lokalitäten (Spalte II) die Durchschnittswerte der am Anstehenden (Spalte III) und über autochthoner Verwitterungsdecke (Spalte IV) gemessenen Impulsraten.

Ein Vergleich der Spalten III und IV macht eindringlich klar, wie sehr der Vorgang der Verwitterung und Bodenbildung dazu neigt, die Aktivitätsunterschiede der ursprünglichen Gesteine zu verwischen. Aus diesem Grunde werden bei der Beurteilung der Meßergebnisse vorzugsweise die am Anstehenden gemessenen Impulsraten der Spalte III herangezogen werden.

TABELLE 3

Das radioaktive Verhalten der Gesteine im Nördlinger Ries.

I Gestein	II Fundort	III Impulsrate am Anstehenden (Imp/min)	IV Impulsrate über autochthoner Verwitterungsdecke. (Imp/min)
Grundgebirge			
Diorit	"Tiefes Tal"E Hürnheim	1 300	
Zweiglimmergranit	"Tiefes Tal"E Hürnheim	1700	
"Lierheimer Granit"	Lierheim	2700	1900
	Sulzdorf	2900	1900
"Biotitgranit"	Wennenberg	3500	2100
"Wennebergit"	Wennenberg	4200	
Kristalline Schiefer	Mauchtal bei Maihingen	1800 -2000	1400
	Marienhöhe bei Nördl.	1500	
Mesozoikum			
Keuper			
Stubensand	Schmähingen	1200	
Feuerletten	Hochstadt	1500	1100
Lias			
Arietenkalksandst.	Hesselberg	700	1050
Amaltheenton	Hesselberg	1300	1100
Dogger			
Opalinuston	Hesselberg		950
Eisensandstein	Hesselberg	400 -600	800
Malm			
Werkkalk	Hesselberg	400 -600	
	Mönchsdeggingen	200 -350	
Suevit			
	Amerdingen	1200	
	Hainsfahrt	1900	
	Otting	1800	
	Polsingen	2600	
Süßwasserkalke (Obermiozän)			
Wohlgeschichtete Kalke	Wart N Amerbach		900
	Ulrichsberg S Maihingen	1300	1200
	Höhe 433 S Großelfingen	1000 -4000	
	"Weißbierkeller" am Stoffelsberg bei Nördl.	3800	
"Sprudelkalke"			
	Wallerstein	600	
	Kl.Hühnerberg	700 -1000	
	E Klein-Sorheim		
	Marienhöhe bei Nördl.	1200	
	Reisberg bei Pflaumloch bis	2500	
	Goldberg	600 -1900	
	lokal bis	4000	
	Steinberg bei Appetshofen bis	20000	
Lößlehmige Überdeckung			800 -1200

C. M I K R O - A U T O R A D I O G R A P H I S C H E U N T E R S U C H U N G E N

Die Methode, Bahnspuren ionisierender Teilchen durch photographische Emulsionen[1] sichtbar zu machen, ist in neuerer Zeit zu hoher Vollkommenheit entwickelt worden. H.Yagoda (1949) hat ihr eine ausführliche Monographie gewidmet. In der Geologie kann sie zur Konzentrationsbestimmung natürlicher Alphastrahler und zur Lokalisierung radioaktiver Elemente innerhalb der Gesteine herangezogen werden. Diese Anwendungen sind von F. G. Houtermans (1951) und E. Piciotto (1949) eingehend dargestellt worden.

Das Verfahren besteht darin, das zu untersuchende Gestein für eine gewisse "Belichtungszeit" (meist einige Wochen) in engen Kontakt mit der photographischen Emulsion zu bringen, nach dieser Zeit die Platte zu entwickeln und die Bahnspuren der Alphastrahlen (je nach Emulsionstyp evtl. auch der Betastrahlen) mikroskopisch zu beobachten.

Die Herstellung solcher "Mikro-Autoradiographien" wurde vom Verfasser herangezogen, um Aufschluß über die Verteilung der strahlenden Elemente innerhalb des besonders aktiven Süßwasserkalkes vom Steinberg zu erhalten. Mit folgenden Anordnungen wurden befriedigende Ergebnisse erzielt:

---

1) Diese Emulsionen sind besonders Silberhalogenidreich (bis 80%) und sehr feinkörnig (mittlerer Korndurchmesser ca. 1 micron).

a) Eine Ilford C2 - Platte[1] wurde für eine "Belichtungszeit" von 20 bis 40 Tagen eng gegen einen nicht abgedeckten Dünnschliff[2] des zu untersuchenden Geisteines gepreßt, dann entwickelt[3] und das Bild der Alphastrahlspuren unter dem Mikroskop beobachtet.

b) Das Gestein wurde zermahlen, eine geeignete Korngrößenfraktion (ca. 20 bis 50 microns) in Wasser aufgeschwemmt und auf die vorgequollene Emulsionsschicht einer Ilford C2-Platte sedimentiert. Beim Trocknen der Platte klebten die Mineralkörner in der Gelatine fest. Nach geeigneter Zeit wurde vorsichtig entwickelt, sodaß die Mineralkörner haften blieben und anschließend das Bild der Alphastrahlspuren zusammen mit den verantwortlichen Mineralkörnern mikroskopisch beobachtet.

In den Fig. 14 bis 17 sind einige besonders charakteristische und für die Fragestellung wichtige Bilder der erhaltenen Autoradiograhien wiedergegeben.[4] Fig. 14 und 15 zeigen für den Süßwasserkalk des Steinberges die Verteilung der von einem Dünnschliff

---

1) Hersteller: ILFORD, Ltd., Ilford, London, England.

2) Bei der Herstellung der Dünnschliffe wurden besondere Vorsichtsmaßnahmen gegen das Einschleppen radioaktiver Substanzen getroffen: Die Schleifplatten wurden vor der Benutzung frisch abgedreht; als Schleifmittel wurde Karborundum anstelle von Schmirgel benutzt (vgl. A.Hee, M. Jarovoy, M. Vitat, 1955).

3) Zur Entwicklung diente ein handelsüblicher Feinkornentwickler.

4) Vergrößerungsmaßstab und "Belichtungszeit" sind bei jeder Fig. angegeben.

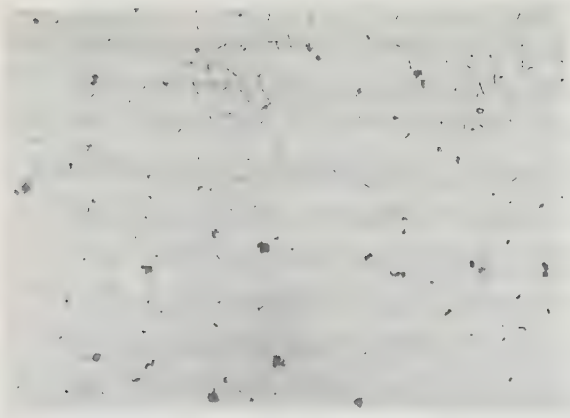


Fig. 14

Fig. 15

Fig. 14 und 15: Homogene Verteilung der Alphastrahlspuren. Mikro-Auradiographie eines Dünnschliffes vom Kalk des Steinberggipfels. 260-fache Vergrößerung, Belichtungszeit 23 Tage.

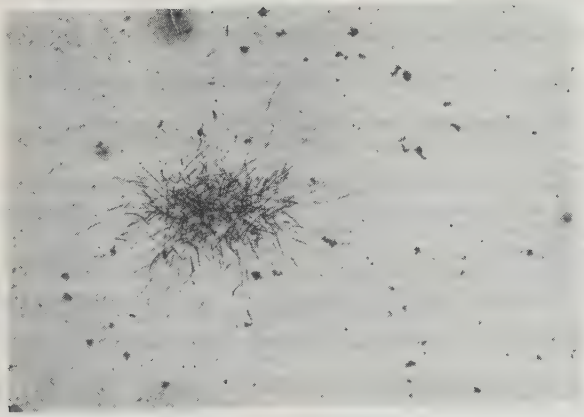


Fig.16. Konzentrierung der Alphastrahl-Spuren an akzessorischen Mineralien: Mikro-Autoradiographie eines Dünnschliffes vom "Biotitgranit" des Wennenberges. 260-fache Vergrößerung, Belichtungszeit 23 Tage.

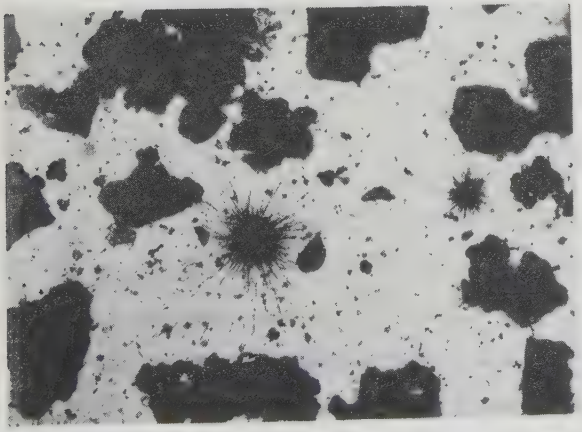


Fig. 17. Konzentrierung der Alphastrahl-Spuren an akzessorischen Mineralien: Mikro-Autoradiographie eines Streupräparates vom in HCl unlöslichen Rückstand des Steinbergkalkes. 260-fache Vergrößerung, Belichtungszeit 38 Tage.

ausgehenden Alphastrahlen. Es ist klar zu erkennen, daß die alphastrahlenden Atome mehr oder weniger homogen im Karbonat verteilt sind. Eine Konzentration in bestimmten Mineralien konnte an den Radiographien der Schliffe in keinem Fall beobachtet werden.

(Wie das Bild einer Konzentration alphastrahlender Elemente in einem akzessorischen Mineral aussieht, zeigt zum Vergleich Fig. 16 : Zirkon im "Biotitgranit" des Wennenberges). Daß eine Konzentration in akzessorischen Mineralien jedoch eine wenn auch sehr untergeordnete Rolle spielt, wird durch die Fig. 17 wahrscheinlich gemacht. Sie zeigt das Bild eines nach der Methode b) hergestellten "Streupräparates" aus dem in Salzsäure unlöslichen Rückstand des Süßwasserkalkes.[1] Neben der großen Zahl inaktiver Mineralkörner, hauptsächlich Quarzen erkennt man zwei sehr aktive Zentren (wahrscheinlich eingeschwemmte, klastische Zirkone).

---

1) Der Anteil an Unlöslichem betrug 5,9%. Beim Lösen des Gesteins in HCl gingen mindestens 70% der radioaktiven Bestandteile in Lösung, wie aus einem Vergleich der Aktivitäten von Lösung und ursprünglicher Probe folgte.

D. CHEMISCHE UND RADIOMETRISCHE ANALYSEN

An quantitativen Bestimmungen der Kalium-, Thorium- und Urangehalte in den radioaktiven Kalken des Steinberges seien die Ergebnisse einer chemischen Gesamtanalyse[1] und einer radiometrischen Analyse nach dem von I. Wendt (1955) beschriebenen Verfahren[2] mitgeteilt:

Chemische Analyse		Radiometrische Analyse[3]
U_3O_8	0,024%	0,024%
Th		0,0045%
SiO_2	4,08 %	
Al_2O_3	1,17 %	
Fe_2O_3	2,98 %	
TiO_2	0,21 %	
CaO	39,26 %	
MgO	11,68 %	
K_2O	0,98 %	<1 %
Na_2O	2,12 %	
P_2O_5	0,20 %	
CO_2	36,62 %	
As	nicht enthalten	

Bemerkenswert sind besonders die Gehalte an MgO (dolomitischer Kalk), an TiO_2 sowie an P_2O_5. Andererseits fällt das Fehlen von As auf, dessen Vorkommen am Steinberg schon C.W. von Gümbel (1870) beschreibt.

---

1) Ausgeführt vom Betriebslabor der Bayerischen Braunkohlenindustrie A.G., Schwandorf.
2) Ausgeführt vom Amt für Bodenforschung, Hannover.
3) Unter der Annahme radioaktiven Gleichgewichtes zwischen Uran und Thorium und ihren Folgeprodukten.

E. G E O L O G I S C H E D E U T U N G D E R

M E S S E R G E B N I S S E

Übersicht

Zum Ausgangspunkt unserer geologischen Erörterungen machen wir die Zusammenstellung der Meßwerte in Tabelle 3 (Seite 39). Wir stellen fest:

Das radioaktive Verhalten des G r u n d g e b i r g e s zeigt mit 1 300 bis maximal 4000 Imp/min durchaus das Bild, das von kristallinen Gesteinen allgemein zu erwarten ist. Es ist daher nicht geeignet, neue Gesichtspunkte für die geologischen Verhältnisse des Rieses beizutragen.

Die geringere Aktivität der m e s o z o i s c h e n S e d i m e n t e mit 200 bis 1500 Imp/min steht ebenfalls in völliger Übereinstimmung mit den Erfahrungen aus anderen Meßgebieten. Sie bedarf gleichfalls keiner besonderen Diskussion.

Der S u e v i t, der mit Impulsraten zwischen 1200 und 2600 Imp/min dem Kristallin nahesteht, soll als charakteristisches Riesgestein im folgenden Abschnitt a) besprochen werden.

Die obermiozänen S ü ß w a s s e r k a l k e zeigen die höchsten (20 000 Imp/min, Steinberg) und tiefsten (100 Imp/min Steinheimer Becken) überhaupt festgestellten Aktivitäten. Diese außerordentliche Variationsbreite, wie auch die auftretenden hohen Urankonzentrationen werden im folgenden Abschnitt b) ausführlich besprochen.

a) Der Suevit

Die verschiedenen Vorkommen von Suevit stehen in ihrem radioaktiven Verhalten (1200 bis 2600 Imp/min) dem kristallinen Grundgebirge (1500 bis 4000 Imp/min) nahe. Diese Übereinstimmung ist kein äußerer Zufall, sondern steht in direktem Zusammenhang mit der Zusammensetzung der Suevite, an der mehr oder weniger stark umgewandeltes und aufgeschmolzenes Grundgebirge den überwiegenden, wenn nicht ausschließlichen Anteil hat.

Die Ansichten darüber, ob neben dem aufgeschmolzenen Grundgebirge ein die Aufschmelzung bewirkendes (basisches) Magma am Stoffbestand der Suevite wesentlich beteiligt ist, gehen auseinander, ebenso die Meinungen in der Frage, ob die Suevitvorkommen von Polsingen und Amerbach als anstehender Schmelzfluß zu deuten seien. E. Weber, auf dessen Blattgebiet Wemding die zuletzt genannten Vorkommen liegen, hat diese Fragen unter Berücksichtigung der älteren Literatur ausführlich diskutiert (1941). Er kommt zu der Überzeugung, daß in den Sueviten von Amerbach und Polsingen anstehender Schmelzfluß vorliegt, der das Produkt der Aufschmelzung von Grundgebirge durch ein aufdringendes Magma darstellt.

Falls diese Deutung zutrifft, wäre zu folgern, daß die Aktivität der Suevite nicht nur eine Funktion des Bestandes an aufgeschmolzenem Grundgebirge sondern ebenso des aufdringenden Magmas ist. Die Tatsache, daß die Vorkommen von Amerbach

und Polsingen eine höhere Impulsrate aufweisen als die übrigen Suevite, denen Spuren echt vulkanischen Schmelzflusses fehlen, könnte dann in dem Sinne gedeutet werden, daß das aufsteigende Magma eine höhere Aktivität besessen habe als das durchdrungene Grundgebirge.[1)]

Es soll in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben, daß die vulkanischen Gesteine des H e g a u e s ebenfalls eine erhöhte Aktivität aufweisen (F. Kirchheimer 1953).

b) Die obermiozänen Süßwasserkalke

Mit den Süßwasserkalken des Rieses haben sich in erster Linie H. Klähn (1925, 1926), O.M. Reis (1925) und H. Nathan (1925, 1935) beschäftigt. Die Entstehung der porösen, blasigen oder schaligen Varietäten ist Gegenstand von Meinungsverschiedenheiten gewesen. Während O.M. Reis die Hohlräume als Schwundrisse beim Auskristallisieren aus einer "Kalkgallerte" deutet, sieht H. Klähn in ihnen einen Hinweis für den Absatz aus kohlensäurereichen (Thermal-)Quellen und unterscheidet sie als "Sprudelkalke" (Quellsinter) von den geschichtet abgelagerten Seeabsätzen.

---

1) Daß die Aktivitätsunterschiede der Suevite lediglich auf verschieden starke Verwitterung und Auslaugung zurückzuführen seien, wird vom Verfasser nicht für möglich gehalten .

Ohne hier zur Frage der Bildungsweise dieser Kalke Stellung zu nehmen, wollen wir den Begriff "Sprudelkalk" als Faziesbezeichnung im Sinne Klähns gebrauchen.[1)]

Bevor wir eine Deutung des anomalen Verhaltens der Süßwasserkalke des Rieses unternehmen, sollen die Tatsachen, die dabei zu berücksichtigen sind, kurz zusammengestellt werden:

Faziell ganz gleich ausgebildete Vorkommen (z.B. Steinberg bei Appetshofen und Goldberg bei Pflaumloch) zeigen ganz verschiedene Aktivitäten.

In mäßiger Entfernung voneinander befindliche Vorkommen (z.B. Steinberg und kl. Hühnerberg, Entfernung 4 km) zeigen sehr starke Aktivitätsunterschiede.

Sowohl "Sprudelkalke" wie wohlgeschichtete Kalke zeigen anormal hohe Aktivitäten.

Die mit Abstand höchste Aktivität weist ein "Sprudelkalk" auf (Steinberg).

Die Aktivität ist auf eine erhöhte Urankonzentration zurückzuführen.

Das Uran ist in den (dolomitischen) Kalken homogen verteilt, es bildet keine eigenen Mineralien.

---

1) In diesem Sinne ist der Ausdruck "Sprudelkalk" in Tabelle 3 zu verstehen.

Zunächst muß betont werden, daß eine Anreicherung von Uran in Kalken überhaupt zu den Seltenheiten gehört. Die weitaus meisten Kalke zeichnen sich bekanntlich durch besonders niedrige Urangehalte aus.[1] Zusammen mit den Ergebnissen chemischer Untersuchungen hat diese Tatsache zu der Auffassung geführt, daß die Anwesenheit von Kalzium- und Karbonationen eine Ausfällung des Urans verhindern (K.G. Bell 1956). Die Zahl der in der Natur besonders bei Süßwasserkalken bekanntgewordenen Gegenbeispiele ist aber immerhin so bedeutend - und die Feststellungen der vorliegenden Arbeit ergeben ein weiteres -, daß man zu der Folgerung gezwungen ist, die in der Natur sich abspielenden Vorgänge seien durch diese einfache Formel nicht zu erfassen.

Dagegen ist das Auftreten erhöhter Urangehalte in Verbindung mit P h o s p h a t e n eine weitverbreitete Erscheinung (V.E. McKelvey, 1956). Die Bindung des Urans an Phosphate erfolgt sowohl syngenetisch wie epigenetisch. Dabei tritt das Uranyl-Ion (UO_2^{++}) isomorph an die Stelle des Kalzium-Ions, eigentliche Uranmineralien werden im allgemeinen nicht gebildet.

In diesem Zusammenhang ist bedeutsam, daß die chem. Analyse des Kalkes vom Steinberg (Seite 43)) einen, wenn auch bescheidenen Phosphatgehalt nachweist. Bei anderen Süßwasserkalken des Rieses scheint der Phosphatgehalt gleichfalls eine

---

1) Ein Beispiel dafür sind in unserem Gebiete die Weißjurakalke.

nicht unbedeutende Rolle zu spielen. Vom Goldberg schreibt Kl. Münzing (1954):

"Der Phosphoritgehalt ist auf den Guano der reichen Vogelwelt und auf die Reste ihrer Fischbeute zurückzuführen. Der Phosphorit tritt in verschiedenartigster Beschaffenheit auf: Als bröckelige Einlagerung in Mergeln, als Überkrustung von Kalkbrocken, als kompaktes Geröll und als tuffige Bildung. Der P_2O_5-Gehalt der Mergel ist 0,59 - 3,55 %, fast reine Phosphate sind die Überkrustungen und Gerölle mit 32,76 - 34,89% P_2O_5."

Von den fossilreichen Kalken des dem Steinberg benachbarten Hahnenberges bei Appetshofen, die oft nur aus einem Haufwerk von Vogelknochen bestanden, heute aber längst abgebaut sind, hat C.W. von Gümbel (1891a) einen Phosphatgehalt von 3,30% P_2O_5 angegeben, der dem Fossilgehalt zugeschrieben werden muß.

Diese Tatsachen führen den Verfasser zu der Überzeugung, daß zwischen den Uranananreicherungen in den Süßwasserkalken des Rieses und ihrem Phosphatgehalt eine Verbindung besteht.[1)]

Da der Phosphatgehalt organischer Herkunft ist, wird die Frage nach der H e r k u n f t d e s U r a n s von diesen Überlegungen nicht berührt. Hierfür können drei Möglichkeiten ins Auge gefaßt werden:

---

1) Die angenommene Verbindung bedeutet selbstverständlich keine quantitative Beziehung in dem Sinne, daß dem jeweils höheren Phosphatgehalt auch ein höherer Urangehalt entsprechen müsse.

1) Herauslösung des Urans aus dem Kristallin des Untergrundes.

2) Herauslösung des Urans aus den vulkanischen Tuffen (Sueviten)

3) Juvenile Zufuhr in der Restphase des für den Riesvulkanismus verantwortlichen Magmas.

1) Das Kristallin im Untergrund des Rieses, das nach E. Weber (1941) im wesentlichen aus Granit besteht und im Zusammenhang mit den zur Riesentstehung führenden Vorgängen eine geophysikalisch nachgewiesene (H. Reich-W.Horrix 1955) Hebung erfahren hat enthält nach den Aktivitätsmessungen am anstehenden (vgl. Tabelle 3, Seite 39) nicht unbeträchtliche Mengen von Uran[1]. Durch die Vorgänge der Riesentstehung wurde es mechanisch und chemisch stark angegriffen, sodaß die Vorstellung einer teilweisen Auslaugung des Urans durch zirkulierende Lösungen (juveniler und/oder vadoser Herkunft) keinen Schwierigkeiten begegnet. Diese Auffassung gewinnt durch den Umstand bedeutend an Wahrscheinlichkeit, daß die höchste Urankonzentration (Steinberg bei Appetshofen) in dem Gebiet auftritt, wo nach den seismischen Messungen der kristalline Untergrund besonders dicht an die Tagesoberfläche heranreicht ("Ringwall").

2) Obwohl die heutige Verbreitung der Suevite der Menge nach zurücktritt, muß aufgrund der seit der Riesbildung erfolgten beträchtlichen Erosion (J.Schröder-R.Dem, 1950) damit gerech-

---

1) Der K-Gehalt (ca. 4%) reicht zur Erklärung der gemessenen Impulsraten keineswegs aus. Unter Annahme eines Mengenverhältnisses U:Th = 1:3, das für die meisten Eruptivgesteine angenähert gilt, (N.B.Keevil, 1944) folgt aus der gemessenen Impulsrate ein Gehalt von größenordnungsmäßig 10 g Uran/t Gestein.

net werden, daß ursprünglich erheblich größere Mengen vulkanischen Tuffs zur Verfügung standen. Da die Aktivität der Suevite von der gleichen Größenordnung ist wie die des Grundgebirges,(vgl.Seite 45)muß man mit ihnen als potentieller Quelle für die Herkunft des Urans ebenfalls rechnen.

"Grund- und Tiefenwässer können das Uran aus Mineralvorkommen und leicht uranhaltigen Gesteinen herauslösen und andernorts absetzen. Dieser Vorgang scheint in Gebieten üblich zu sein, die durch das Vorherrschen vulkanischer Tuffe gekennzeichnet sind. Der Absatz erfolgt in Gesteinen, ... die den chemischen Charakter der sie durchwandernden Lösungen rasch ändern können, wie Kalksteinenund Dolomit. .... Wahrscheinlich ist der Absatz in Kalken in der Hauptsache auf die Neutralisierung der leicht sauren Lösungen und eine damit verbundene Verminderung der Uranlöslichkeit zurückzuführen" (K.G.Bell,1951; Übersetzung des Verfassers).

Ein direkter Hinweis auf derartige Vorgänge ist in der von Marktoffingen beschriebenen hohen Aktivität an der Grenzfläche zwischen dem kristallinunterlagerten Tuff und den Süßwasserkalken zu erblicken.

3) Deutet man mit H. Klähn (1925) die "Sprudelkalke" als Absätze kohlensäurereicher Quellen, die Nachwirkungen des Riesvulkanismus darstellen, so ist mit der gleichzeitigen Förderung anderer flüchtiger Bestandteile der hydrothermalen Restphase

zu rechnen[1]. Zu bedenken ist jedoch, daß es keine flüchtigen Uranverbindungen gibt, sodaß eine direkte magmatische Zufuhr nur auf dem Wege wässriger Lösungen stattgefunden haben kann (Überdies fehlt eine für t h e r m a l e Bildung der Sprudelkalke jeder Beweis). Die Annahme eines b a s i s c h e n Magmas kann kein Grund sein, die Anwesenheit gewisser Uranmengen zu verneinen, wie das in anderem Zusammenhang (Seite 46) bereits erwähnte Beispiel der Hegauvulkane zeigt.

Die Entscheidung, welche der drei dargelegten Möglichkeiten - allein oder im Zusammenwirken - für die Herkunft des Urans zutreffen, ist bei dem derzeitigen Stand unserer Kenntnisse nicht zu fällen. Der Verfasser ist jedoch geneigt, die Auslaugung des Grundgebirges als Hauptursache anzusehen. Als sicher hat zu gelten, daß der Transport des Urans in wässrigen Lösungen erfolgte. Ob der Absatz in den Süßwasserkalken dabei syngenetisch oder epigenetisch erfolgte, kann ebenfalls nicht entschieden werden. Wahrscheinlich sind beide Vorgänge beteiligt.[2]

---

1) Bereits C.W. von Gümbel betrachtete den Pittizit (Eisenarsenat) vom Steinberg als solchen.

2) Als sicher epigenetisch ist die Urankonzentration in einem Stück (vorriesischer!)Braunkohle aus der Handstücksammlung des Geologisch-Paläontologischen Universitätsinstitutes zu betrachten,das vom Kalkbruch des Zementwerkes Harburg stammt. Aufgrund der gemessenen Aktivität ist der Urangehalt dieser Probe von gleicher Größenordnung wie der des Steinbergkalkes. Ein weiterer Hinweis auf epigenetische Bildung liegt in der erhöhten Aktivität der als vorriesisch betrachteten Tertiärschichten vom "Weißbierkeller" an der Marienhöhe bei Nördlingen(vgl.S.24).

Die durch die Messungen festgestellte V e r t e i l u n g der Urangehalte läßt sich am zwanglosesten durch das Zusammenwirken zweier unabhängiger Faktoren erklären:

Grund- und Quellwässer führten, je nach den zurückgelegten Wanderwegen, verschiedene Urankonzentrationen.

Der Umfang der Uranausfällung wurde von äußeren Faktoren, wie z.B. dem Phosphatgehalt der Kalke, beeinflußt.

Vergleich mit einem nordamerikanischen Vorkommen

Zum Abschluß unserer geologischen Betrachtungen soll noch ein Vorkommen zum Vergleich herangezogen werden, das mit den Verhältnissen im Ries in vielen Punkten große Ähnlichkeit zeigt:

Es handelt sich um das Gebiet der "Hopi Buttes" im nordöstlichen Arizona, dessen geologische Verhältnisse von J.T. Hack (1942) und im Hinblick auf die festgestellten Urankonzentrationen von E.M. Shoemaker (1956) ausführlich beschrieben worden sind.

Im Miozän haben in diesem Gebiet zahlreiche vulkanische Sprengungen stattgefunden, die von beiden Autoren mit den Vulkanschloten des Uracher Gebietes verglichen werden. Die etwa 250 trichterförmigen Durchschlagröhren erreichen Durchmesser von mehr als 1 km. Vulkanische Ergüsse (eines monchiquitischen Magmas) fehlen nicht, treten aber hinter der För-

derung reiner Auswurfmassen zurück, von denen die meisten Sprengröhren erfüllt sind. Diese Schlotfüllungen enthalten in ihren liegenden grobblockig-breckziösen Teilen reichlich Einschlüsse der vom Explosionskanal durchsetzten Schichten,[1] die hangenden Teile sind feinkörniger ausgebildet und weisen Einschaltungen von Kalkbänken und S i n t e r k a l k e n auf. Durch spätere Einsturzvorgänge ist die Lagerung stark gestört. Morphologisch treten die Schlotfüllungen als Härtlinge, die der Erosion mehr Widerstand boten, hervor.

Die Kalke enthalten 0,001 bis 0,02 % Uran, sichtbare Uranmineralien sind nicht vorhanden. E.M. Shoemaker (1956) kommt zu der Ansicht, daß das Uran zusammen mit einem parallel laufenden Phosphatgehalt (bis 1%) und ein möglicherweise beträchtlicher Anteil des Karbonates dem Monchiquit – Magma entstammt. Er führt die weite Verbreitung des Urans in den Kalken der Schlotfüllungen auf syngenetische Entstehung zurück.

---

1) In einem Falle wurden auch Grundgebirgseinschlüsse festgestellt.

Schlußbemerkung

Wenn die Radioaktivitätsuntersuchungen an den Gesteinen des Nördlinger Rieses für den Vorgang der Riesentstehung selbst auch keine neuen Gesichtspunkte erbracht haben, so haben sie doch zur Aufdeckung der bisher unbekannten Tatsache geführt, daß in den Süßwasserkalken des Rieses ungewöhnliche Urankonzentrationen auftreten, einer Tatsache, die mit den eigenartigen Vorgängen der Riesentstehung in direktem Zusammenhang gebracht werden muß.

Die festgestellte Urankonzentration erreicht mit 0,02% zwar nur den fünften Teil der konventionellen unteren Bauwürdigkeitsgrenze, sodaß sie derzeit ohne wirtschaftliches Interesse ist, ihre wissenschaftliche Bedeutung kann aber nicht bestritten werden. Die vorliegenden Meßergebnisse sind noch zu wenig umfangreich um die Frage der Entstehung eindeutig zu klären.

Weitere Untersuchungen, besonders auch im Uracher Vulkangebiet dürften neue, wertvolle Erkenntnisse bringen .

Literaturverzeichnis

Ackermann W., 1956: "Geologisch-petrographische Untersuchungen im Ries", unveröfftl. Diss.,München.

A.E.R.E., 1957: Atomic Energy Research Establishment, Isotope Division, Harwell, England: "Radioactive Materials and stable Isotopes".

Anderson,W.; Mayneord W.V., Turner R.C., 1954: "The Radon Content of the Atmosphere", Nature 174,424.

Ashman,C.C., 1908: "A Quantitative Determination of the Radium Emanation in the Atmosphere", Amer.J. Sci. 26,119.

Bell,K.G., 1956: "Uranium in Precipitates and Evaporites", U.S. Geol. Survey Prof. Paper 300, 381.

Bock,F.,1954: "Gammastralenmessungen mit einem verbesserten Müller-Geiger-Zähler im Bereich der oberbayerischen Voralpenmolasse und im Kristallin der ostbayerischen Grenzgebirge", unveröfftl. Diss., München.

Coulomb R., 1955: "Dispersion des radio-éléments de la famille Uranium-Radium dans les eaux naturelles", Bull,Soc.Franç.Minér.Christ. 78,89.

Dehm,R.,1931: "Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Monheim", N.Jh.Min.Geol.Pal.,Beil.Bd.67,Abt.B. 139

Dorn,P., 1950: "Ein Jahrhundert Riesgeologie",Z. deutsch. geol.Ges. 100,348.

Faust, W.R.,Johnson M.H., 1949: "Multiple Compton-Scattering", Phys. Rev. 75,467.

Gerstlauer,K., 1940: "Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Öttingen",Mitt. Reichsstelle f. Bodenforschung, Zwgst. München, Heft 35.

Gümbel C.W. von, 1888: "Geognostische Karte des Königreiches Bayern" Bl. Nördlingen, Bl. Ingolstadt.

Gümbel C.W. von,1891: "Geognostische Karte des Königreiches Bayern, Bl. Ansbach.

Gümbel C.W. von, 1870: "Der Riesvulkan ...", Sitzungsber. kgl. bayer. Ak.Wiss. 1.

Gümbel C.W. von, 1891a: "Geognostische Beschreibung der fränkischen Alb", Kassel.

Hack J.T., 1942: "Sedimentation and Volcanism in the Hopi Buttes, Arizona", Bull. Geol. Soc. Amer. 53, 335.

Hanle W., 1951: "Der Szintillationszähler", Naturwissensch. 38, 176.

Matuda,Z., 1953: "Radon Content and its Change in Soil Air near the Ground Surface", Mem. Kyoto Univ. Coll. Sci. Ser. B. 20, 285.

Hee A., Jarovoy M., Vitat M., 1955: "Rôle de l'abrasif dans la contamination radioactive des lames minces minéralogiques", Ann. Géophysique 11, 249.

Hollander J.M., Perlman I., Seaborg G.T., 1953: "Table of Isotopes", Rev. mod. Phys. 25, 469.

Houtermans F.G., 1951: "Die Kernemulsionsplatte als Hilfsmittel der Mineralogie und Geologie", Naturwissensch. 38,132.

Jech Č., 1949: "The Radioactivity of Dust", Nature 163, 570.

Karr P.R., Jamkin J.C., 1949: "Penetration and Diffusion of hard X-Rays through thick Barriers III. Studies of Spectral Distributions", Phys. Rev. 76,1843.

Keevil,N.B., 1944: "Thorium-Uranium Ratios in Rocks and Minerals", Amer. J. Sci. 242, 309

Kirchheimer F., 1953: "Weitere Untersuchungen über das Vorkommen von Uran im Schwarzwald", Abh.geol.Landesamt in Baden-Württemberg,Heft 1.

Klähn,H., 1925: "Paläolimnologische Studien im Ries bei Nördlingen", Cbl. Min., Geol. Pal. Abt. B, 320.

Klähn H., 1926: "Vergleichende, paläolimnologische,sedimentpetrographische und tektonische Untersuchungen an miocänen Seen der schwäbischen Alb", N.Jb.Min.Geol.Pal., Beil. Bd. 55,Abt.B,274.

Mattauch,J., Flammersfeld A., 1952: Landolt-Börnstein "Zahlenwerte und Funktionen", 6.Aufl. I/5, 70 ff.

McKelvey V.E., 1956: "Uranium in Phosphate Rock", U.S. Geol. Survey Prof. Paper 300, 477.

Münzing K., 1954: "Geologische Untersuchungen zwischen Bopfingen und Nördlingen (Ries)", unveröfftl. Diss., Tübingen.

Nathan,H., 1925: "Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Möttingen", N.Jb. Min. Geol. Pal., Beil. Bd. 53,Abt. B, 31.

Nathan H., 1935: "Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Ederheim", Abh. geol. Landesuntersuchung Bayer. Oberbergamt,Heft 19.

Picciotto E.E., 1949: "L' étude de la radioactivité des roches par la méthode photographique", Bull. Soc. Belge Géol. Pal. Hydrol. 58,75.

Preibsch J.A., Radinger G., Dymek P.L., 1937: "Untersuchungen über den Radium-Emanations-Gehalt der Freiluft in Innsbruck und auf dem Hafelekar (2300 m)", Gerlands Beitr. Geophys. 50,55.

Reich H., Horrix W., 1955: "Geophysikalische Untersuchungen im Ries und Vorries und deren geologische Deutung", Beih. Geol. Jb., Heft 19.

Reis O.M., 1925: "Zusammenfassung über die im Ries südlich von Nördlingen auftretenden Süßwasserkalke und ihre Entstehung", Jahresber. und Mitt. Oberrhein.geol.Ver. Neue Folge 14,176.

Rossi B., 1948: "Interpretation of Cosmic Ray Phenomena", Rev. mod. Phys. 20,537.

Schröder, J., Dehm R., 1950: "Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Harburg", Abh. naturwissensch. Ver. für Schwaben (Augsburg), Heft 5.

Schwalb K., 1941: "Beiträge zur Kenntnis der Radium-Emanation in der Atmosphäre", Bioklimat. Beibl. Meteorol. Z. 8,82.

Shoemaker E.M.,1956: "Occurence of Uranium in Diatremes on the Navajo and Hopi Reservations, Arizona, New Mexico and Utah", Proc. Internat. Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy (Geneva 1955) 6, 412.

Tanaevsky C., Vassy E., 1955: "Radioactivité naturelle et artificielle de l'atmosphère", Ann. Géophysique 11,486.

Weber W., 1941: "Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Wemding", Abh. Naturkunde-und Tiergarten-vereins für Schwaben,(Augsburg)3,Geol.-Pal.Reihe, Heft 2.

Wendt I., 1955: "Bestimmung von U, Th und K an unaufgeschlossenen Gesteinen mit dem Zählrohr", unveröfftl. Diss., Göttingen.

Wierczeyko Ch., 1952: "Messungen des Emanationsgehaltes der Bodenluft und ihre Anwendung auf geologische Probleme", unveröfftl. Diss., München.

Yagoda H., 1949: "Radioactive Measurements with Nuclear Emulsions", J. Wiley & Sons, New York.

Lebenslauf .

Als Sohn des Flugkapitäns a.D. Johannes Trapp und seiner Ehefrau Franziska, geb. Schrott, wurde ich, Günter Fritz Trapp, am 27. Juli 1931 in Starnberg geboren. Nach vierjähriger Volksschulzeit in Berlin besuchte ich in Baden-Baden die Oberrealschule und legte hier 1950 die Reifeprüfung ab. Danach studierte ich an der Universität Heidelberg Physik und legte 1955 die Diplomphysiker-Hauptprüfung und das Staatsexamen für Lehramtskandidaten ab. Zum Wintersemester 1955/56 bezog ich die Universität München, um unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. H. Reich eine Dissertation auf dem Gebiet der angewandten Geophysik anzufertigen .